

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА**

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

Кафедра фізичної географії та картографії

До захисту допустити
Зав. кафедри _____ доцент **Анатолій БАЙНАЗАРОВ**
« _____ » _____ 2025 р.

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ ТА ВИКОРИСТАННЯ
ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ РЕСУРСІВ
(НА ПРИКЛАДІ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

Виконав: студент 4-го курсу д.ф.н,
групи ГК- 41
спеціальність: 106 Географія
освітня програма: Картографія,
геоінформатика і кадастр
Максим Юрійович ЗВЄКОВ
Науковий керівник:
доцент, к.пед.н. **Катерина БОРИСЕНКО**

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою

Голова ЕК **Валентина РЕДІНА**

Секретар ЕК **Тетяна БУЛГАКОВА**

« _____ » _____ 2025 р.

Харків – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	7
1.1. Підходи до вивчення поверхневих вод у сучасній географії та геоінформатиці.....	7
1.2. Геоінформаційні системи та дистанційне зондування Землі як інструменти водного моніторингу	8
1.3. Антропогенний вплив на водні ресурси: зарегульованість, деградація, війна як фактор змін.....	10
РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-ГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПРОБЛЕМИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ В МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ	12
2.1. Природні передумови формування поверхневих водних ресурсів Миколаївської області.....	12
2.2. Сучасний стан та структура водокористування регіону.....	21
2.3. Антропогенні та екологічні виклики у водокористуванні Миколаївської області.....	29
2.4. Система управління та охорони водних ресурсів області.....	41
РОЗДІЛ 3. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН СТАНУ РІЧОК ПІВДЕННИЙ БУГ І МЕРТВОВОД	46
3.1. Методологія геоінформаційного аналізу: дані, індекси та обробка спутникових знімків.....	46
3.2. Просторово-часовий аналіз річки Південний Буг від Олександрівської ГЕС до Вознесенська: заростання берегів, зміна водного дзеркала, біомаса.....	50
3.3. Аналіз річки Мертвовод: вплив війни, перекриття русла, деградація прибережних територій.....	63

3.4. Інтерпретація результатів та оцінка екологічної трансформації водного середовища.....	78
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82

ВСТУП

Раціональне використання та охорона водних ресурсів є однією з ключових умов сталого розвитку суспільства, особливо в умовах кліматичних змін, зростання антропогенного навантаження та нестабільної екологічної ситуації в Україні. Водні ресурси Миколаївської області відіграють стратегічну роль у забезпеченні населення питною водою, веденні сільського господарства, функціонуванні промислових об'єктів, зокрема Південноукраїнської атомної електростанції та існуванні природних екосистем. Разом із тим, їх стан продовжує погіршуватись під впливом урбанізації, індустріалізації, зростаючої потреби в іригації, а також внаслідок змін у гідрологічному режимі.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення сталого використання поверхневих вод Миколаївської області, однієї з найменш водозабезпечених областей України. В умовах змін клімату, військових дій та зносу очисної інфраструктури, значна частина водних об'єктів області зазнає деградації. Це проявляється у зниженні водності річок, порушенні гідрологічного режиму, евтрофікації і недостатній ефективності систем водоочищення. Використання сучасних геоінформаційних технологій відкриває нові можливості для моніторингу та аналізу водних систем у просторі й часі.

Об'єктом дослідження є поверхневі водні ресурси Миколаївської області.

Предметом дослідження є особливості просторового розподілу поверхневих водних ресурсів, їх використання, стану та охорони з урахуванням природних, антропогенних та соціально-економічних чинників.

Метою дипломного дослідження є геоінформаційний моніторинг стану та особливостей використання поверхневих водних ресурсів Миколаївської

області із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій та методів дистанційного зондування Землі.

Відповідно до мети, у роботі поставлено наступні завдання:

1. Проаналізувати наукові основи моніторингу водних ресурсів з використанням геоінформаційних систем і дистанційного зондування Землі.
2. Надати фізико-географічну характеристику Миколаївської області та її водних ресурсів.
3. Визначити ключові антропогенні та екологічні проблеми у сфері використання поверхневих вод.
4. Дослідити діючу систему управління та охорони водних ресурсів області, з урахуванням впливу війни.
5. Запропонувати рекомендації щодо покращення моніторингу та водокористування.

Новизна роботи полягає у комплексному дослідженні стану поверхневих вод Миколаївської області із залученням просторового аналізу та геоінформаційних систем, у контексті зміни клімату, збройного конфлікту та актуальних водогосподарських проблем. Запропоновано системний підхід до інтеграції екологічного моніторингу з просторовим плануванням водокористування.

Проміжні результати дослідження попередньо були апробовані автором дипломної роботи на науковій конференції студентів і аспірантів «Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи», присвячених пам'яті професора Г. П. Дубинського (2023, Харків) [5] та (2024, Харків) [6].

Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові методи (спостереження, аналіз, порівняння), географічні методи (картографування, класифікація, геоінформаційний аналіз), а також інтерпретація статистичних даних (звіти Держводагентства, обласної військової адміністрації, Міндовкілля) і використання методів космічної гідрології (аналіз водойм за допомогою космічних знімків, їх різних спектрів та індексів).

Структура роботи. Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків і списку використаних джерел (76 джерел). Робота представлена на 91 сторінці, і включає в себе 30 ілюстрацій та 5 таблиць.

РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

1.1. Підходи до вивчення поверхневих вод у сучасній географії та геоінформатиці

Вивчення поверхневих водних ресурсів є однією з фундаментальних складових фізичної географії, гідрології, екології, а в останні десятиліття й геоінформатики. З погляду класичної географії, дослідження поверхневих вод охоплює аналіз гідрографічної мережі, динаміки водного режиму, якості води, джерел живлення, типів живлення та впливу кліматичних чинників. Однак сучасна наукова парадигма дедалі активніше вимагає залучення геоінформаційних систем (ГІС), які дозволяють поєднати гідрологічні спостереження з просторовим аналізом та супутниковим моніторингом [1].

Поверхневі води – це води, що постійно або тимчасово знаходяться на поверхні землі: річки, озера, водосховища, ставки, лимани тощо. Їх стан є інтегральним показником як природного, так і техногенного впливу на ландшафт. Як зазначає Хільчевський В. К., основні екологічні загрози для водних ресурсів України включають дефіцит води в південних регіонах, забруднення промисловими та сільськогосподарськими стоками, замулення русел, а також зарегульованість водотоків, що порушує природний гідрологічний режим [2].

Із розвитком дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) стали доступні нові підходи до оцінки поверхневих вод, зокрема автоматизоване визначення площ водного дзеркала, виявлення евтрофікації, сезонних змін, оцінка заростання берегів та відстеження забруднень.

Сучасна геоінформатика пропонує мультидисциплінарний підхід до вивчення водних ресурсів. Вона інтегрує: просторові дані, супутникові знімки, інструменти автоматизації аналізу, індексні аналізи й доступ до баз даних та платформ [4]. Саме геоінформаційні системи дозволяють аналізувати

просторово-часову динаміку змін досліджуваного об'єкта, оцінювати техногенний вплив на річки та водойми, будувати тематичні карти та інтегрувати дані польових спостережень із супутниковими даними.

У власних дослідженнях автора, що стосуються Миколаївської області, застосовувалися ГІС та технології ДЗЗ для виявлення заростання берегів річки Південний Буг, а також для аналізу екологічного стану ділянки річки Мертвовод, русло якої зазнало змін внаслідок бойових дій. Ці приклади демонструють ефективність ГІС як інструменту діагностики деградації водного середовища [5], [6].

У науковій літературі сьогодні також набуває поширення аналіз впливу військових дій на водні ресурси. Наприклад, підрив Каховської ГЕС у 2023 році спричинив масштабні гідроекологічні наслідки, зокрема пересихання дельти, зменшення площі водного дзеркала, погіршення якості води [7]. Хоча ці події не були локалізовані в межах Миколаївської області, їхній відгомін позначився на водному балансі регіону, включно з Мертвоводом і Південним Бугом.

Отже, сучасні підходи до вивчення поверхневих водних ресурсів передбачають інтеграцію гідрологічного, геоінформаційного, екологічного та навіть геополітичного аналізу. Це дозволяє не лише зафіксувати поточний стан водних ресурсів, а й виявити тенденції їхньої трансформації, запропонувати науково обґрунтовані рішення для сталого водокористування та збереження водних екосистем.

1.2. Геоінформаційні системи та дистанційне зондування Землі як інструменти водного моніторингу

Завдяки розвитку цифрових технологій просторового аналізу, ГІС та ДЗЗ, стали невід'ємними складовими сучасного моніторингу водних ресурсів. Вони дозволяють швидко й ефективно здійснювати збір, зберігання, обробку,

аналіз і візуалізацію просторових даних, що особливо актуально у регіонах із динамічними гідрологічними умовами, як-от Миколаївська область.

ГІС є потужним інструментом просторового аналізу, який дозволяє інтегрувати векторні та растрові шари, моделювати водозбірні площі, оцінювати зміни у водному дзеркалі, виявляти критичні зони забруднення чи зарегульованості, а також створювати тематичні карти річкових басейнів [8]. У водному господарстві такі технології вже активно застосовуються в процесах планування зрошення, захисту від паводків, управління водозабором і розробки інтегрованих схем водокористування.

Одним з найефективніших джерел супутникових даних для водного моніторингу є Sentinel-2, який забезпечує високу просторову роздільність (10 м) та багато спектральність (13 каналів). Його перевага полягає в можливості проводити мультиспектральний аналіз із використанням таких індексів, як NDWI, False color, тощо [10]. За допомогою цих індексів можна виділяти межі водних об'єктів, фіксувати заростання берегів, цвітіння води або зменшення водного дзеркала через кліматичні та антропогенні впливи [4].

Зокрема, індекс NDWI (Normalized Difference Water Index) дозволяє точно виділити водні об'єкти на супутникових знімках. Він розраховується за формулою: $NDWI = (G - NIR) / (G + NIR)$, де G – значення зеленого діапазону (B3), NIR – ближнього інфрачервоного діапазону. Високі значення NDWI свідчать про наявність води, тоді як низькі або від'ємні про рослинність, ґрунт або урбанізовані поверхні [11].

Особливо зручним для студентських досліджень є використання безкоштовного ПЗ QGIS, що підтримує обробку знімків Sentinel-2, має плагіни для індексного аналізу, так як SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) та дозволяє здійснювати буферизацію, векторизацію, створення шарів для проведення подальшого аналізу [12]. Платформа Google Earth Pro, у свою чергу, забезпечує доступ до історичних знімків, що дозволяє порівнювати

ситуацію в різні роки та інтегрувати супутникові й польові спостереження [60].

Таким чином, поєднання ГІС-технологій та даних ДЗЗ є ключовим інструментом сучасного водного моніторингу. Це забезпечує просторову точність, повторюваність, візуальну доказовість і дозволяє створювати науково обґрунтовані карти, що мають практичну цінність для водогосподарського планування та екологічного управління.

1.3. Антропогенний вплив на водні ресурси: зарегульованість, деградація, війна як фактор змін

Антропогенне навантаження є ключовим фактором трансформації стану поверхневих вод у Миколаївській області. Значна частина проблем водного середовища пов'язана з інтенсивним використанням річок для промислових, сільськогосподарських і комунальних потреб. Проблеми забруднення, замулення, зарегульованості, а в останні роки і гідроекологічної дестабілізації внаслідок військових дій, стали системними для регіону.

Розвинена промисловість, зрошення та водозабір формують інтенсивне навантаження на річкову систему. За даними Басейнового управління водних ресурсів річки Південний Буг, сільськогосподарські угіддя становлять до 81% площі водозбору, змінюючись на водозборах окремих річок у межах 74-90% [13].

Ключовими проявами антропогенного тиску є:

- Скидання стічних вод без належного очищення (насамперед з боку комунальних підприємств, зокрема КП «Миколаївводоканал»). В той час як скиди з Південноукраїнської АЕС контролюються відповідно до екологічних нормативів і не є джерелом органічного чи біогенного забруднення.
- Зарегульованість річок: створення понад малих ГЕС та гребель змінює природний гідрологічний режим річок.

- Замулення та заростання русел рослинністю, що пов'язано з порушенням водообміну, евтрофікацією, нестачею кисню та подальшим розвитком водної рослинності [14].
- Нераціональне зрошення, що порушує гідробаланс регіону [13].

Війна завдала нових ударів по водній екосистемі регіону. Так, на річці Мертвовод біля м. Вознесенськ, що є притокою Південного Бугу, було зведено тимчасову насипну переправу, що призвело до застою води, масового розвитку очерету, ряски та ціанобактерій, які знижують рівень кисню та отруюють водойму [6]. Додатково підрив Каховської ГЕС тимчасово порушив гідробаланс півдня України, змінивши рівень води навіть у притоках нижче за течією, включно з Південним Бугом.

Отже, антропогенний вплив на поверхневі води в регіоні є системним і комплексним. Його ключовими загрозами є зарегульованість, забруднення та надзвичайні події, спричинені військовими діями. Моніторинг за допомогою ГІС є важливим засобом фіксації змін і підготовки відповідних заходів реагування.

РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-ГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПРОБЛЕМИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ В МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

2.1. Природні передумови формування поверхневих водних ресурсів Миколаївської області

Миколаївська область розташована в південній частині України у межах Північного Причорномор'я, займаючи важливе стратегічне положення, яке значною мірою визначає особливості формування поверхневих водних ресурсів регіону. Територія області переважно рівнинна з поступовим зниженням з півночі на південь, до узбережжя Чорного моря та лиманів, що формує специфічні особливості гідрологічного режиму регіону (рис. 2.1) [13].



Рис. 2.1. Розташування Миколаївської області [37]

Північна частина Миколаївської області розташована в межах Придніпровської височини, що характеризується сильно розчленованим рельєфом з розгалуженою мережею ярів і балок. Такі форми рельєфу сприяють швидкому поверхневому стоку під час паводків і весняного водопілля, але одночасно підсилюють процеси водної ерозії, які призводять до активного утворення нових ерозійних форм і замулення русел річок та водойм [13, 14].

Південна частина області є Причорноморською низовиною із незначними ухилами, яка простягається вздовж узбережжя Чорного моря. Ця

низовина характеризується низькими абсолютними висотами, широкими зниженнями рельєфу, численними лиманами та місцями заболоченими ділянками. Такі природні умови сприяють накопиченню та тривалому застою води у низинах, створюючи специфічні екологічні умови для прибережних екосистем [14].

Рельєф безпосередньо впливає на структуру річкової мережі, наприклад, долина річки Південний Буг, головної водної артерії області, є широкою і слабо вираженою з низькими, заболоченими берегами в нижній течії. Водночас у середній течії (біля Мигії) річка має вузьке русло з виходами кристалічних порід на поверхню, формуючи скелясті каньйони і порожисті ділянки, які визначають місцевий гідрологічний і екологічний режим (рис. 2.2) [13], [14], [18].



Рис. 2.2. Початок Мигійських порогів [73]

Таким чином, географічне положення та особливості рельєфу Миколаївської області створюють специфічні умови для формування водних ресурсів: активний поверхневий стік на півночі та накопичення води з уповільненим стоком на півдні, що важливо враховувати у процесі управління та моніторингу водних ресурсів регіону.

Основні кліматичні особливості регіону формуються під впливом помірно континентального клімату, недостатньої кількості опадів та високого рівня сонячної радіації [37]. За кліматичною класифікацією, регіон характеризується як посушливий із помірним континентальним кліматом, зі значною міжсезонною амплітудою температур та нестабільністю опадів.

У період 1991-2020 років середньорічна температура повітря в області склала близько $+10,5^{\circ}\text{C}$, при цьому річна амплітуда температури сягала $+25,4^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів у межах 470 мм. Ці показники демонструють помітну просторову різницю: від 407 мм на півдні (Очаків) до 553 мм на півночі (Первомайськ) [36].

У кліматичних спостереженнях використовувалися дані п'яти метеостанцій: у Баштанці, Вознесенську, Миколаєві, Первомайську та Очакові. Вони стали базою для аналізу середньосезонних температур, включаючи зимові значення від $-1,1^{\circ}\text{C}$ до $-1,7^{\circ}\text{C}$ на півночі та північному сході, а також літні температури з середніми показниками на рівні $+22,3^{\circ}\text{C}$. Найвища зафіксована середньомісячна температура у липні, середнє значення якого становить $+23,3^{\circ}\text{C}$, а максимальна, $+29,6^{\circ}\text{C}$ [36].

За останні десятиріччя в області спостерігається чітка тенденція до підвищення температур. Темп зростання середньорічної температури в Миколаївській області в 1981-2010 рр. становив $+0,6^{\circ}\text{C}$ за 10 років, що є вищим за середній показник по Україні [36]. Особливо інтенсивне потепління спостерігається влітку, коли середня сезонна температура зростала на $+0,87^{\circ}\text{C}/10$ років, а максимальна на $+1,1^{\circ}\text{C}/10$ років.

У літні місяці спостерігається зростання кількості днів з аномально високими температурами, їх називають «тропічні ночі» ($T_{\text{мін}} \geq 20^{\circ}\text{C}$) стали частішими, досягаючи в середньому 11 днів на рік. Також зростає кількість спекотних днів із $T_{\text{макс}} \geq 25^{\circ}\text{C}$ – у середньому 97,4 днів на рік (за 1991-2020 рр.) [36]. Водночас, тривалість опалювального сезону скоротилась: кількість днів з температурою $\leq +8^{\circ}\text{C}$ зменшилась з 158 до 152 [36].

Зростання температури супроводжується підвищенням ризику теплових стресів. У південних районах області, зокрема в Очакові та Вознесенську, радіаційна еквівалентно-ефективна температура (РЕЕТ) влітку перевищує комфортні межі на 15-20%, досягаючи 24,6°C в середньому, а в окремі дні понад 35°C.

Кліматична норма 1991-2020 рр. показала, що температура повітря в регіоні зросла на +1,1°C у порівнянні з базовим періодом 1961-1990 рр. [36]. Найбільше зростання спостерігається в літній період, особливо у липні та серпні (+1,7°C) (рис. 2.3).

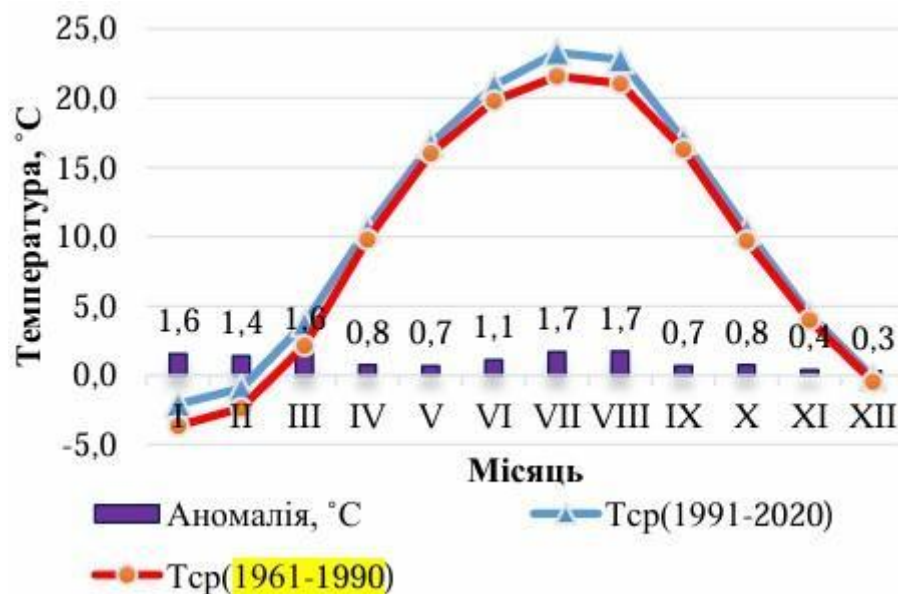


Рис. 2.3. Кліматична норма середньої температури повітря за рік, сезон та місяць у 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. та їхні аномалії [36]

Ці зміни є наслідком глобального потепління, яке в регіоні проявляється ще інтенсивніше, ніж у середньому по планеті. За даними IPCC (Міжурядова група експертів зі зміни клімату), NOAA (Національне управління океанічних і атмосферних досліджень) та WMO (Всесвітня метеорологічна організація), Україна (зокрема й південні області) належить до територій із найвищими темпами зростання температури за останні 30 років.

Територія Миколаївської області лежить на стику двох великих геоструктур: Українського кристалічного щита (північна частина) та Причорноморської западини (південь). Відповідно, геологічна будова півночі представлена переважно кристалічними породами, які місцями виходять на поверхню (гранітні виступи в долині Південного Бугу тощо), а південь товщею осадових порід та відкладів. Така будова зумовлює різний характер ґрунотворних процесів і рельєфу. Таким чином на півночі сформувалися глибокі долини і пороги на річках (гранітні пороги Південного Бугу відомі біля Мигії) [15]. Натомість на півдні осадові породи, зокрема піски та глини, формують більш рівнинний ландшафт із значними площами родючих рівнин.

Ґрунтовий покрив області належить до зони родючих чорноземів степової та лісостепової смуг, проте демонструє зональні зміни з півночі на південь [16]. На півночі переважають типові чорноземи, які мають високий вміст гумусу та добру водопроникність. Ці ґрунти сформувалися під трав'янистою рослинністю лісостепу і за достатнього зволоження добре накопичують вологу, сприяючи живленню річок. Просуваючись на південь, чорноземи поступово переходять у південні чорноземи та темно-каштанові ґрунти. В умовах більш посушливого клімату вони містять менше гумусу і часто є слабо- і середньосолонцюватими, тобто з підвищеним вмістом солей у ґрунтовому профілі [37]. На окремих ділянках зустрічаються солонці та солончакові ґрунти, особливо в пониженнях, де відбувається засолення через випаровування (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Солончаковий ґрунт [74]

У прирічкових заплавах і прибережних районах поширені лучно-болотні ґрунти, а також піщані і супіщані. Така мозаїчність ґрунтів впливає на стік: суглинкові чорноземи здатні вбирати значну кількість вологи, зменшуючи поверхневий стік, тоді як глинисто-солонцюваті ґрунти, погано пропускають воду і швидко пересихають, що посилює стік під час злив, але зменшує живлення річок в період відсутності дощів. Засолені ґрунти також сприяють більшому стіканню вод (за рахунок слабого проникнення) та підвищують мінералізацію поверхневого стоку.

Первинна рослинність Миколаївщини – це степова і лісостепова: на півночі ковилово-типчакова степова рослинність з ділянками лучної рослинності в долинах річок, на півдні типові південні ковилові степи з більш посушливою флорою [25]. Однак антропогенний вплив істотно трансформував рослинний покрив [17]. Нині майже вся територія розорана під сільськогосподарські угіддя. Цілісні масиви цілинного степу збереглися тільки фрагментарно, головним чином на схилах балок, у заповідниках та на полігонах. Лісова рослинність займає лише близько 2% площі області, переважно це штучно насаджені ліси та полезахисні смуги, представлені

дубом, кленом, осокором (чорною тополею), берестом, сосною та чагарниками [25], [37]. Подекуди уздовж річок трапляються заплавні ліси й луки. Бідність лісового покриву і розорювання степів мають важливі наслідки для водного балансу: у відсутності природної трав'яної й лісової рослинності зменшується здатність ландшафту затримувати вологу. Під час сильних дощів вода швидко стікає по розораних схилах, спричиняючи ерозію та майже не поповнюючи підземні води. Це підтверджується розгалуженою яружною сіткою, що розвинулася внаслідок змиву ґрунтів [18]. Також, мала лісистість призводить до слабкого випаровування вологи з поверхні землі (транспірації) у холодний сезон, але влітку, за відсутності тіні і лісового покриву, випаровування з ґрунту і водойм лише посилюється.

Щодо доступу до води, то Миколаївська область належить до маловодних регіонів України: місцевий стік тут обмежений і значною мірою залежить від води, що надходить з сусідніх територій [19], [25]. Головною водною артерією області є річка Південний Буг, він перетинає територію області з північного заходу на південний схід і впадає в Бузький лиман, а далі до Чорного моря, поблизу Миколаєва. Довжина Південного Бугу в межах області становить 257 км, а площа його водозбірного басейну охоплює понад половину території області [25]. Снігове та дощове живлення є переважаючим типом живлення річки Південний Буг [20]. Взимку річка перемерзає дуже рідко (льодостав нестійкий через відносно теплі зими, льодохід є рідкістю), але навесні спостерігається водопілля за рахунок танення снігу у верхів'ях. Максимальні витрати води припадають на березень-квітень. Влітку стік різко зменшується, часто до мінімуму у серпні, коли починається межень [22]. Осінні дощі зазвичай викликають невеликі підйоми рівня, але не такі значні, як весняні [21],[22].

До основних приток Південного Бугу належать: Кодима, Синюха, Чорний Ташлик, Чичикля [25]. Однак, в межах області чимале значення мають такі притоки як Мертвовод та Інгул. Мертвовод є лівою притокою

Південного Бугу, протікає в західній частині області, його долина скеляста, місцями формує каньйон Гранітно-степове Побужжя [23]. Інгул, також ліва притока Південного Бугу, протікає центральною частиною області з півночі на південь і впадає в Південний Буг біля Миколаєва. Довжина Інгулу а межах області становить близько 179 кілометрів, він тече у широкій долині, будучи зарегульованим ставками [24]. Східна околиця області (Баштанський район) частково дренається річкою Інгулець правою притокою Дніпра, яка утворює природний кордон з Херсонщиною.

Варто зазначити, що антропогенна зарегульованість річок Миколаївщини є значною. У басейнах Південного Бугу, Інгулу, Мертвоводу та малих річок області створено велику кількість ставків і водосховищ, котрі використовуються для потреб зрошення, рибальства та водопостачання [25]. За даними Державного водного кадастру, в області нараховується 978 озер, 45 водосховищ і 1100 ставків [25]. Найбільше Ташлицьке водосховище-охолоджувач Південноукраїнської АЕС, розташоване в балці Ташлик, біля Південного Бугу, низка зрошувальних водойм на Інгульці тощо, тоді як ставки, майже на кожному малому потоці. Така кількість водойм істотно впливає на режим стоку: вони акумулюють весняні води, розтягуючи паводок у часі, і зменшують максимальні витрати, але влітку спричиняють додаткові втрати води через випаровування. За оцінками екологів, значна частина малих річок перетворена на каскади ставків зі стоячою водою. Швидкість течії в них близька до 0 м/с, що призводить до замулення русел та евтрофікації води. Випаровування з поверхні численних ставків сприяє тому, що в низинах річок відзначається дефіцит стоку, пересихання окремих ділянок і погіршується стан води. Іншими словами, зарегулювання річок в умовах посушливого клімату призвело до того, що багато водойм існують у стані близькому до застійного, а природний річковий стік суттєво зменшився.

Гідрографічною особливістю півдня області є наявність лиманів, розширених гирлових ділянок річок, котрі взаємодіють з Чорним морем.

Найбільшим є Дніпровсько-Бузький лиман, який являє собою спільну естуарну систему Південного Бугу і Дніпра. Бузький лиман заходить вгору по течії, аж до м. Миколаєва, а Дніпровський лиман ближче до самого Чорного моря і знаходиться на межі Миколаївської та Херсонської областей [26], [27]. Вода в лиманах солонувата (перемішування прісної і морської) і рівень солоності залежить як від річкового притоку, так і від вітрових нагонів з моря. В останні роки, через зменшення притоку прісної води Південного Бугу, спостерігається посилення проникнення солоної морської води в Бузький лиман. Екологи зазначають, що водність Південного Бугу зменшується, і це веде до збільшення підпору солоної води з Чорного моря вгору по лиману, такий процес загрожує погіршенням якості води в гирловій зоні, зокрема біля Миколаєва, що використовує лиманну воду для потреб водопостачання [25], [28]. Таким чином, сезонно-кліматичні чинники і географічне положення обумовлюють складний режим вод об'єднаного Дніпровсько-Бузького лиману: навесні він опріснюється паводковими водами, а наприкінці літа більше підпадає під вплив моря.

Отже, Миколаївська область має природні умови, котрі не сприяють утворенню потужних водних ресурсів. Географічне положення в степовій посушливій зоні, рівнинний рельєф з незначним стоком, переважання чорноземних ґрунтів з високим випаровуванням та майже повна відсутність лісів зумовлюють малу кількість місцевого стоку і сильну сезонність водного режиму. Водні ресурси області значною мірою утворюються за рахунок притоку з інших регіонів (верхів'я Південного Бугу та частково Дніпра), а власний стік є недостатнім. Жарке літо і дефіцит опадів історично визначили маловодність регіону, а сучасні зміни клімату (потепління та посухи) ще більше загострюють проблему. Ці чинники в комплексі з антропогенним навантаженням (зарегульованістю річок, забором води) призводять до зниження рівнів води в річках, їх обміління та деградації екосистем. Розуміння природних передумов, географії, клімату, ґрунтів і рельєфу є основою для

розробки планів сталого використання та охорони поверхневих водних ресурсів Миколаївщини в умовах змін, що тривають.

2.2. Сучасний стан та структура водокористування регіону

Водні ресурси Миколаївської області відіграють стратегічну роль у забезпеченні населення водою, підтримці аграрного виробництва, функціонуванні промислових об'єктів (зокрема Південноукраїнської АЕС) та збереженні природних екосистем області. До цього ж, Миколаївська область, як згадувалося, належить до маловодних регіонів України. Власні запаси прісної води тут обмежені: територія лежить у басейнах Південного Бугу (59,5%), Дніпра (23,5%) і малих річок Причорномор'я (17%) [25]. Основними джерелами водопостачання є поверхневі води річки Південний Буг та Інгул і раніше Дніпро [28]. Підземні води також використовуються, особливо у сільській місцевості, але їх якість у степовій зоні часто незадовільна через високу мінералізацію [28]. За даними Держводагентства, за запасами води на одного жителя Миколаївщина посідає чи не останнє місце в країні [25]. Така природна обмеженість означає, що раціональне водокористування тут є критично важливим для сталого розвитку регіону.

З початком повномасштабного вторгнення стан водокористування в області погіршився. російські війська неодноразово використовували воду як зброю, шляхом знищення критичної інфраструктури водопостачання. Весною 2022 року було зруйновано основний водозабір, що постачав питну воду до міста Миколаєва, внаслідок чого майже півмільйонне місто залишилося без стабільного централізованого водопостачання (рис. 2.5) [28].



Рис. 2.5. Залишки зруйнованого водогону, що постачав воду до Миколаєва, з річки Дніпро [30]

Одночасно бойові дії та окупація частини територій призвели до зупинки зрошувальних систем та масового відтоку населення, що суттєво знизило попит на воду. Попри певне «полегшення» антропогенного навантаження, військові дії спричинили нові критичні виклики для водного господарства регіону.

Агропромисловий комплекс Миколаївщини традиційно є одним із найбільших споживачів води в регіоні. Значна частина області це сільськогосподарські угіддя, що потребують зрошення через посушливий клімат. Основними культурами, які потребують зрошення, є зернові, соняшник та фруктові сади [31].

У період 2019-2023 рр. на потреби агросектору (передусім зрошення) в середньому припадало близько чверті-треті від загального водоспоживання області. Наприклад, у 2020 році, коли через посушливі умови було максимально задіяно зрошувальні системи, забір води на зрошення сягнув 105,6 млн.м³ (близько 40% від загального) [33]. У 2021 році зрошення склало

53,6 млн.м³ (32% використаної води), але вже 2022 року через військові дії обсяги поливу практично зійшли нанівець, лише 4,7 млн.м³ (менше 5%) (табл. 2.1) [25], [33]. Таким чином, війна спричинила падіння водоспоживання в сільському господарстві на 91% за рік (рис. 2.6).

Таблиця 2.1

Використання води за потребами, млн.м³ [25]

Різнавид потреб	2020 рік	2021 рік	2022 рік	2023 рік
Виробничі	92,95	87,139	69,962	67,998
Зрошення	105,52	53,595	4,713	36,834
Господарсько-питні	27,56	26,281	19,148	18,348

Використання води за потребами, млн.м³

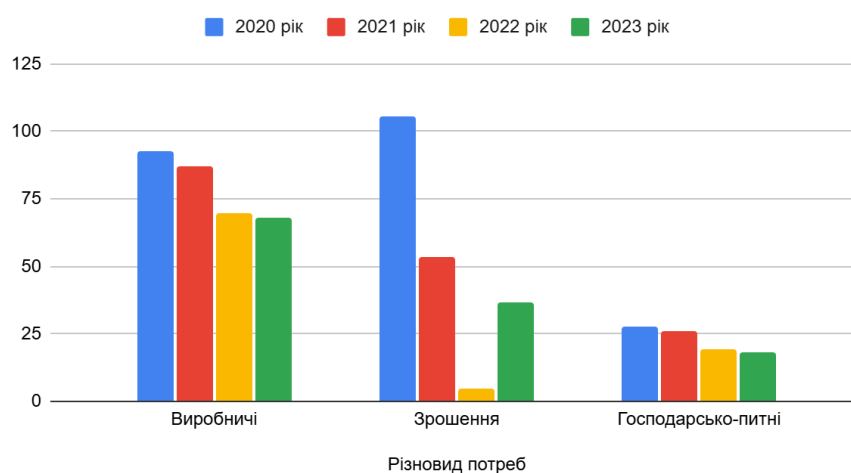


Рис. 2.6. Водоспоживання води за потребами у Миколаївській області

Сільське господарство є не лише водокористувачем, а й одним із забруднювачів. Розповсюджене застосування мінеральних добрив і пестицидів на полях призводить до змиву поживних речовин (нітратів, фосфатів) та

хімікатів у річки і водойми під час опадів [34]. Надлишкове надходження сполук фосфору та азоту викликає явище евтрофікації «цвітіння» води, тобто активний розвиток синьо-зелених водоростей, що супроводжується зниженням вмісту кисню у воді та подальшими заморами риби, якщо це явище буде тривати довго та інтенсивно. Подібні процеси фіксуються у літній період в пониззі Південного Бугу та малих річках області, особливо за умов мілководдя і застійних явищ, адже так вода прогрівається найшвидше.

Виробничий сектор (включаючи промислові підприємства і об'єкти енергетики) традиційно є найбільшим водокористувачем Миколаївської області. Найбільшими промисловими підприємствами, які споживають воду, є Миколаївський суднобудівний завод та Південноукраїнська АЕС [32]. Підприємства використовують воду для технічних потреб, охолодження обладнання.

У 2019-2023 роках на виробничі потреби припадало понад половину всього об'єму води, що використовувався в регіоні [25], [31], [33]. Так, у 2021 р. промисловість та енергетика спожили 87 млн.м³ води (52% від загального використання). Значна частина цього обсягу припадає на охолодження агрегатів електростанцій Південно-Української АЕС та пов'язаного з нею каскаду ГЕС/ГАЕС. Ця вода після використання скидається назад у водойми як умовно чиста (нормативно очищення не потребує) і становить левову частку зворотних вод області у близько 50 млн.м³ щорічно [25], [31], [33]. Однак теплове забруднення від таких скидів теж є проблемою: підігріта вода змінює термічний режим річок і може негативно впливати на водну екосистему, прискорюючи процеси евтрофікації.

Більшість заводів обладнані системами оборотного водопостачання, що дозволяє багаторазово використовувати ту саму воду і знижувати забір свіжої. У 2021 році сумарний обсяг оборотної та повторно-послідовної води на підприємствах області склав 3,47 млрд.м³, що у 20 разів перевищує обсяг свіжої води, взятої для виробничих потреб [31]. Це свідчить про високий рівень впровадження водозберігаючих технологій у промисловості регіону.

Повномасштабна війна вплинула на виробничий сектор двояко. З одного боку, внаслідок бойових дій, окупації та руйнувань частина підприємств зупинила роботу або була пошкоджена, що зменшило виробниче водоспоживання, а з іншої сторони, з цих же підприємств могли статися витoki шкідливих речовин. Загалом у 2022 році на виробничі потреби було використано близько 70 млн.м³ води, що на 19,7% менше проти 2021 року [31], [33].

Комунальний сектор третій за обсягами водокористувач області. У довоєнний період комунальні господарства припадало близько 15-20% використаної води. Зокрема, у 2021 р. цей показник становив 26,8 млн.м³ (близько 16% від загального) [31]. Централізоване водопостачання охоплювало 538 із 911 населених пунктів Миколаївщини (90,8% населення) станом на 2020 рік, тоді як інші споживали воду з колодязів і свердловин [35]. Основними джерелами водопостачання були річки: Південний Буг (для м. Миколаєва та частини громад), Інгул, Синюха, а також вода з річок Дніпровського басейну. Якість питної води в регіоні залежить від природних умов і технічного стану мереж [38]. Значна частина підземних вод області має підвищену жорсткість і мінералізацію, тому деякі міські водопроводи беруть воду з поверхневих джерел. Водночас малі річки влітку міліють, а Південний Буг у межах Миколаївщини вже є значно «використаним» вище за течією, тому не завжди забезпечує необхідний обсяг води. У результаті водозабезпеченість населення тут нижча, ніж у середньому по країні, і потребує залучення додаткових ресурсів.

Варто згадати й про проблеми з відведенням та очищенням стічних вод комунального сектора. Посилаючись на дані програми «Питна вода Миколаївщини», МКП «Миколаївводоканал» генерує 90% каналізаційних стоків, всі стоки по області класифікуються як недостатньо очищені (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Очисні споруди МКП «Миколаївводоканал» [3]

Основними забруднювачами комунальних стоків є органічні речовини, біогенні елементи (сполуки азоту й фосфору), мийні засоби та мікроорганізми. У поверхневих водах нижче випусків очисних споруд спостерігається підвищений вміст амонію, нітритів, фосфатів, а влітку дефіцит розчиненого кисню і мікробне забруднення [39].

Повномасштабна війна значно загострила проблеми комунального водного господарства. Як вже згадувалося, бойові дії пошкодили водну інфраструктуру, навесні 2022 року обстрілами було виведено з ладу частину міських очисних споруд Миколаєва, що знизило якість очищення стоків. Нестабільне електропостачання та небезпека для персоналу унеможлилювали своєчасний ремонт мереж, через що місто неодноразово залишалося без води [35]. Населення вимушено користувалося технічною водою з Бузького лиману, привізною та артезіанською водою.

За офіційними даними, у 2022 році обсяг води, використаний на житлово-комунальні потреби, склав 23,5 млн.м³, що в 1,5 рази менше, ніж у 2021 році [31], [33]. Відповідно зменшився і обсяг стічних вод, хоча це й тимчасово

знизило навантаження на очисні споруди, проте їхній стан, ще до війни був незадовільний, а під час війни тільки погіршився через неможливість проведення ремонтів.

У 2023 році ситуація у водопостачанні області ще більше ускладнилася після підриву Каховської гідроелектростанції: руйнування цієї греблі призвело до знищення Каховського водосховища джерела води для зрошення та водопостачання на південному сході України. Багато громад Миколаївщини, що були залежні від дніпровської води, залишилися без надійного джерела, що вимагало термінового буріння нових свердловин і підвозу води населенню [25], [38]. Таким чином, війна виявила вразливість комунальної водної інфраструктури регіону та актуалізувала проблему резервного водозабезпечення і модернізації очисних систем.

Після початку повномасштабного вторгнення РФ у лютому 2022 року водогосподарська система Миколаївської області зазнала серйозного удару. У 2022 році обсяг забору води скоротився до 95,69 млн.м³, що становить менше 47% від рівня попереднього року [33]. Це було найнижче значення за останнє десятиліття, що пов'язане з масштабними пошкодженнями водної інфраструктури, припиненням діяльності багатьох підприємств, евакуацією населення та зупинкою зрошення. Найбільшого скорочення зазнали житлово-комунальне водопостачання та аграрні напрямки водокористування. Обсяг води, використаної для зрошення, становив лише 4,71 млн.м³ порівняно з 56,42 млн.м³ у 2021 році. Житлово-комунальні потреби зменшились до 19,15 млн.м³, тобто майже вдвічі менше, ніж у довоєнні роки [31], [33]. Таке падіння пояснюється відключенням централізованого водопостачання в Миколаєві після знищення водогону, пошкодженням насосних станцій, трубопроводів та локальних систем у громадах та містах, евакуацією населення з прифронтових та окупованих територій.

В абсолютному вимірі обсяги виробничого (промислового) водокористування також скоротилися: з 110,35 млн.м³ у 2021 р. до 69,96 млн.м³ у 2022 [31], [33].

На фоні загального дефіциту води, в багатьох населених пунктах було організовано альтернативне водопостачання: доставку води автоцистернами,

встановлення тимчасових резервуарів і колонок. Зокрема, у Миколаєві, який залишився без централізованого джерела, вся питна вода надходила з резервуарів, свердловин та мобільних систем очищення.

У 2023 році ситуація почала поступово стабілізуватися завдяки реалізації екстрених рішень. Основним джерелом води для Миколаєва стала річка Інгулець. Це дозволило частково відновити централізоване водопостачання. Відповідно, загальний обсяг забору води зріс до 195,05 млн.м³, майже вдвічі більше, ніж у 2022 р [25], [33].

Особливо помітним було зростання водоспоживання в сільському господарстві: з 4,71 млн.м³ (2022) до 36,83 млн.м³ (2023), що свідчить про часткове відновлення зрошення. Комунальний сектор залишився стабільним: 18,35 млн.м³, а промислове споживання залишилося на рівні 67,99 млн.м³, тобто не відновило довоєнні обсяги [25], [33].

Проте технічна інфраструктура залишається вразливою. У 2023 році частина водогонів продовжувала функціонувати в обмеженому режимі, через проблеми з транспортуванням води, проблеми з очисними спорудами та погіршення контролю за несанкціонованими скидами через послаблення екологічного моніторингу.

Отже, упродовж 2019-2023 років водокористування в Миколаївській області зазнало суттєвих змін: якщо в довоєнний період спостерігалось поступове скорочення водозабору через економічні й кліматичні фактори, то з початком повномасштабної війни в 2022 році обсяги впали критично, понад удвічі. Найбільше постраждали аграрний та комунальний сектори, зокрема через руйнування інфраструктури та втрату джерел водопостачання і неможливість проведення робіт. Часткове відновлення у 2023 році засвідчило здатність системи до адаптації, однак водогосподарська галузь області й надалі залишається вразливою, потребує модернізації, сталого управління та підвищення екологічної безпеки.

2.3. Антропогенні та екологічні виклики у водокористуванні Миколаївської області

Проблеми раціонального водокористування на Миколаївщині останніми роками різко загострилися під дією як антропогенних чинників, так і природно-екологічних змін. Важливу роль відіграють сучасні кліматичні тенденції, зростання температур та часті посухи призводять до обміління річок і пересихання малих водотоків. Не менш суттєвими є наслідки багаторічного антропогенного навантаження: зарегулювання стоку (будівництво гребель, водосховищ), значний забір води на зрошення, скиди недостатньо очищених стічних вод тощо. Окремо відзначилася війна, яка спричинила руйнування водогосподарської інфраструктури, екологічні катастрофи (підрив Каховської ГЕС) та ускладнення в управлінні водними ресурсами. Нижче розглянуто актуальні виклики для різних типів водних об'єктів області: річок, озер, лиманів, водосховищ, ставків, а також очисних споруд з урахуванням змін гідрологічного режиму, евтрофікації, забруднення та деградації екосистем.

Миколаївська область характеризується розгалуженою річковою мережею, проте більшість річок належать до малих і середніх, з невеликим місцевим стоком. Основу водних ресурсів області формує Південний Буг, котрим живиться місто Миколаїв [25]. Загалом на території області налічується 142 річки завдовжки понад 10 км. Живлення переважно атмосферне з помітною участю ґрунтових вод [25].

Кліматичні зміни, зокрема часті посухи, призводять до деградації малих річок: заростання русел, замулення та зникнення малих приток. Одночасно антропогенне навантаження на річкові системи посилює проблеми. Зокрема, багаторічне зарегулювання стоку призвело до зміни гідрологічного режиму: весняні паводки згладжені, натомість улітку відчувається дефіцит проточності.

Масштабний забір води на господарсько-питні та особливо зрошувальні потреби також впливає на водність річок. Приміром, у багатий на опади 2021 р. на зрошення в області було використано 53,6 млн.м³ води, а у маловодному та посушливому 2020 р. 105,5 млн.м³ [31], [41]. Значна частина цього об'єму

припадала на річкові води і через це на малих річках були збудовані ставки та невеликі водосховища, задля накопичення води для зрошувальних періодів.

Одним із джерел забруднення водотоків Миколаївської області є дифузне надходження агрохімікатів з поверхневим стоком. Сільськогосподарські угіддя, які займають близько 80% території області, удобрюються мінеральними та органічними добривами, а також обробляються пестицидами. Під час дощів, деяка частина цих речовин змивається з полів і стікає до малих річок і балок, спричиняючи евтрофікацію і перевищуючи гранично допустимі норми концентрації речовин (ГДК) [25]. Особливо вразливими до цього є малі річки із зарегульованим стоком і слабкою течією наприклад, притоки Інгулу або річки степового типу в Снігурівському та Баштанському районах. Таке забруднення не лише знижує якість води, а й призводить до біологічної деградації: зростання біомаси водоростей, зниження вмісту кисню, погіршення умов існування водної фауни. Крім того, виявлено накопичення залишків гербіцидів у донних відкладах окремих малих водотоків, що становить хронічну загрозу для водних екосистем [25]. Також можна згадати й про басейн Інгульця в котрій впродовж десятиліть скидують високомінералізовані шахтні води Кривбасу, що подається по руслу балки Свистунова (Дніпропетровська область) до річки Інгулець [36], [42]. І хоча й скид 10-12 млн.м³ вод з балки відбувається лише в не вегетаційний період (листопад-лютий) і відбувається промивка русла річки під час вегетаційного періоду, в ньому переважають 2, рідше 3 класи якості води для зрошення полів, що може спричинити засолення ґрунтів [42].

Вплив війни додав нових викликів для річкових ресурсів. Внаслідок бойових дій та окупації частини територій області у 2022 р. система централізованого водопостачання Миколаєва втратила доступ до вод Дніпра, через пошкоджений водовод, що постачав дніпровську воду до міста. Це змусило використовувати місцеві джерела постачання води, спочатку воду з Бузького лиману, а пізніше, після деокупації Миколаївщини з Інгульця, попри їх незадовільну якість [33], [36]. Починаючи з 2023 року саме Інгулець став основним джерелом водопостачання

обласного центру [36]. Це актуалізувало проблему додаткового очищення води та необхідності комплексного розв'язання питання якісного водозабезпечення населення під час війни. Зниження рівня води в малих річках через посухи та замулення призвело до обміління колодязів. Так, у низці сіл долини Інгулу річкова вода традиційно слугувала основним джерелом для житлово-комунальних потреб, але наразі її бракує. Забезпечення підвозу питної води цим населеним пунктам стало нагальним завданням у 2022-2023 рр.

Загалом, для річок Миколаївщини ключовими викликами є зміна гідрологічного режиму (обміління, сезонна нерівномірність стоку), погіршення якості води внаслідок забруднення (мінералізація, органічне та хімічне забруднення від стоків), а також вплив військових дій на можливість використання річкових вод. Все це призводить до деградації річкових екосистем: зниження біорізноманіття (зникнення притаманних видів риби у пересихаючих притоках), порушення природних міграцій риби через греблі, евтрофікації заплавних ділянок тощо.

Озера Миколаївської області представлені переважно в межах Кінбурнського півострова, де зосереджено понад 969 із 978 природних озер регіону (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Рожеві озера Кінбурнської коси [76]

Найбільшими з них є озеро Черепашине (186,0 га) та озеро Чернине (56,0 га). Решта області характеризується вкрай низькою озерністю поодинокі заплавні озера мають невелику площу і несталий гідрологічний режим [25].

Особливістю озер Кінбурнської коси є їх рекреаційне значення. Їх глибина рідко перевищує 1,5 метра, влітку, деякі з них випаровуються і на їх місці залишається лише шар солі та цілющі грязі [43].

Антропогенний вплив на озера проявляється неконтрольованим туризмом, засміченням та порушенням водного режиму. Зміни клімату призводять до зниження рівня води в озерах, що негативно впливає на їх екосистеми.

Окрім того, внаслідок військових дій та лісових пожеж, насамперед у 2022 році, значна частина екосистем Кінбурнського півострова зазнала значних порушень та руйнувань. Це включає втрати флори та фауни, а також погіршення якості водних ресурсів.

На півдні Миколаївської області значну роль відіграють прибережні лимани Чорноморського узбережжя, Дніпровсько-Бузький лиман (до якого впадають Південний Буг та Дніпро), а також окремі менш великі лиманні системи: Бузький, Березанський і Тилігульський лимани. Лимани є унікальними екосистемами, однак наразі вони зазнають комплексного впливу кліматичних коливань, антропогенних навантажень та наслідків військових дій.

Дніпровсько-Бузький лиман є найбільшим в області, фактично естуарне розширення нижньої течії Південного Бугу та Дніпра (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Місце поєднання Бузького та Дніпровського лиманів [60]

Він історично мав напівпрісний водний режим, проте зарегулювання Дніпра (створення каскаду водосховищ) підвищило середню солоність лиману до 3-4‰, наблизивши його до морської. У червні 2023 року руйнування греблі Каховської ГЕС спричинило різку зміну режиму лиману, величезна маса прісної води з Каховського водосховища ринула вниз по Дніпру, викликавши повінь. Одночасно прісна вода у великому об'ємі потрапила в Дніпровсько-Бузький лиман і далі в Чорне море, що призвело до тимчасового опріснення цих акваторій. Протягом кількох місяців після катастрофи солоність поступово відновилася до звичних показників [44]. Основну масу забруднень взяли на себе заплави і узбережжя лиману, де осіли тонни винесеного паводком мулу і сміття. За даними Міністерства захисту довкілля, у води Дніпра й лиману потрапило кілька сотень тонн машинного мастила та паливних матеріалів зі зруйнованого водосховища, а також шкідливі речовини із донних відкладів [45]. Таким чином, катастрофічна повінь і різке опріснення лиману, змінилося довгостроковим ефектом обміління та деградація водних систем через втрату регулюючої ролі водосховища і винесення забруднювачів у лиман.

Тилігульський лиман (на межі Миколаївської та Одеської областей) є унікальною водоймою, адже він сполучається з морем через штучний канал (рис. 2.10).

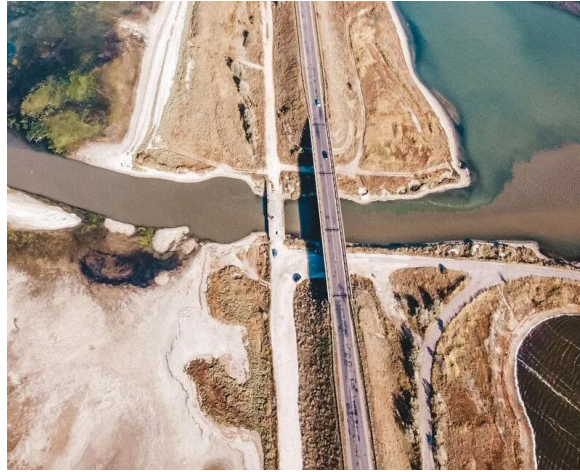


Рис. 2.10. Сполучення Тилігульського лиману з Чорним морем, через канал [75]

Останні десятиліття для нього характерні різкі коливання рівня води і солоності. Через зменшення притоку прісних річкових вод (падіння стоку малих річок) та замулення виходу до моря, лиман часом перетворювався на замкнену водойму (після відновлення каналу у 2017 році, лиман більше не пересихає) [47]. У спекотні посушливі роки випаровування переважає над припливом і солоність води різко зростає, наразі вона сягає 22-24‰, а влітку може перевищувати 30‰ [46]. Без регулярного підживлення морською водою Тилігульський лиман ризикує повторити долю славнозвісного одеського лиману Куяльник, який через відсутність з'єднання з морем перетворився на гіперсолоне озеро [48].

На щастя, війна не нанесла великих збитків Тилігульському лиману, роботи з прочистки його каналу ведуться й надалі, природохоронний статус, зберігається однак, ключовими викликами для Тилігульського лиману так і залишаються: недостатній водообмін, ризик надлишкової солоності, і замори риби.

Березанський лиман відносно невеликий лагунний лиман, в якому близько половини площі припадає на мілководдя та який отримує малий притік води від річки Березань та Сасик (рис. 2.11) [49].



Рис. 2.11. Березанський лиман [60]

У маловодні періоди Березанський лиман міліє, через підвищення температур та як наслідок випаровуваності. Нагрівання води створює сприятливі умови для розвитку синьо-зелених водоростей і бактеріопланктону, через що вода в лимані починає цвісти. Відмічались випадки заморів риби [50]. Антропогенний вплив на лиман проявляється у рекреаційному навантаженні (узбережжя використовується для відпочинку, що приносить сміття та забруднення) і локальних скидах стоків з баз відпочинку [25], [31]. Умови війни (зменшення туризму, скорочення господарської діяльності) могли тимчасово знизити антропогенний вплив на лиман. Однак, цвітіння води та випаровування, не перестали чинити негативний вплив на лиман.

Бузький лиман – це естуарій Південного Бугу біля Миколаєва (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Бузький лиман [60]

Він має значний об'єм і глибини, тому менш чутливий до пересихання, однак теж стикається з екологічними викликами. По-перше, зміна гідрологічного режиму Південного Бугу, через зарегулювання призвела до того, що водообмін у лимані сповільнився, а притік прісної води зменшився. У вітряні періоди можливі нагінні явища, коли морська вода з Чорного моря заходить в лиман, підвищуючи солоність, що може негативно впливати на прісноводні екосистеми верхньої частини лиману. По-друге, Бузький лиман зазнає значного антропогенного навантаження, адже на його берегах розташовані портові та промислові об'єкти міста Миколаєва. У лиман скидаються очищені і недостатньо очищені комунальні стоки міста, насамперед міським комунальним підприємство «Миколаївводоканал» [25]. Війна створила додаткові ризики: у 2022 р. внаслідок обстрілів було пошкоджено міську інфраструктуру, що могло призвести до потрапляння неочищених стоків у лиман [25], [33], [51]. Також у акваторії порту було підтоплено корабель Гетьман Сагайдачний, оскільки він перебував на ремонті, технічні рідини мали б бути викачані з корабля і забруднення не мало бути, однак підтвердження чи спростування даній інформації знайти не вдалося [52].

Таким чином, для лиманів Миколаївщини спільними викликами є коливання солоності і рівнів (через зміну притоку та клімат), евтрофікація та замори, забруднення від антропогенних джерел, а також вплив військових дій, який найбільш відчутний у Дніпровсько-Бузькій системі.

Ставки є однією з найпоширеніших складових водогосподарської системи Миколаївщини. В області нараховується понад 1100 ставків [25], переважно це невеликі штучні водойми на малих річках і балках, створені для потреб господарства, зрошення, напування худоби чи технічного водопостачання [25]. Ставки відіграють важливу роль у регулюванні поверхневого стоку на місцевому рівні, але водночас їх масове будівництво в минулому призвело до зарегульованості малих річок. Течія в даних ставках майже відсутня, що призводить до цвітіння, також через випаровування з ставків, річки стають маловодними, відмічається їх пересихання та як наслідок збільшення мінералізації води [25]. Антропогенний вплив у ставках відображається цвітінням води та заростанням берегів, що спричинено надмірним використанням земель навколо ставка фермерами, землі розорюються і під час проведення робіт з внесення добрив та хімікатів, частина з них, з дощем може потрапляти до ставка, де спричиняє вищеперераховані процеси [25].

Військові дії вплинули на функціонування ставків опосередковано. Зменшення господарської діяльності могло дати коротку паузу окремим екосистемам від надмірного антропогенного пресу, а з іншої сторони антропогенний вплив на них міг збільшитися, через необхідність пошуку нових джерел для зрошення, через знищення Каховського Водосховища.

Якість поверхневих вод Миколаївської області значною мірою залежить від ефективності роботи очисних споруд, що обслуговують міста і підприємства. На жаль, у Миколаївській області стан багатьох комунальних очисних споруд незадовільний через застаріле обладнання, перевищення проектних потужностей та відсутність належного обслуговування, що призводить до того, що стічні води недостатньо очищаються перед скиданням. Загальний обсяг скидів зворотних вод

до поверхневих водних об'єктів області 2023 року склав 49,459 млн.м³, що порівняно з минулим роком більше на 1,381 млн.м³ (2,8%) [25]. Основними за обсягом, у загальному складі зворотних вод, є нормативно (умовно) чисті води без очистки, їх доля дорівнює 68,5 % або 33,860 млн.м³. Щодо основних забруднювачів, то ними являються КП (комунальні підприємства) (табл.2.2).

Таблиця 2.2

Основні забруднювачі водних ресурсів області та їх обсяги скиду зворотних вод,
млн.м³ [25]

№ з/п	Назва комунальних підприємств-забруднювачів	2021 рік (разом)	2021 рік (забруднені)	2022 рік (разом)	2022 рік (забруднені)	2023 рік (разом)	2023 рік (забруднені)
1	МКП «Миколаївводоканал» м. Миколаїв	20,707	18,648	11,518	11,518	14,006	14,006
2	КП «Міськводоканал» Баштанської міської ради м. Баштанка	0,326	0,266	0,034	-	0,182	0,182
3	КП «Очаківської міської ради «Очаків-Сервіс» м. Очаків	0,263	0,263	0,155	0,155	0,147	0,147
4	КП «Ольшанське» смт Ольшанське Миколаївський район	0,108	0,108	0,088	0,088	0,101	0,101
5	КП «Прибузьке», м. Нова Одеса	0,037	0,037	0,023	0,023	0,03	0,03

Продовження таблиці 2.2

6	КП «Первомайськводоканал» м. Первомайськ	1,952	1,23	1,962	1,23	-	-
7	КП «Первомайське управління водопровідно-каналізаційного господарства» м. Первомайськ з грудня 2023 року	-	-	-	-	0,13	0,073

У Миколаєві, Південноукраїнську, Вознесенську функціонують міські каналізаційні очисні споруди, проте вони не завжди забезпечують повну біологічну очистку. Трапляються аварійні ситуації наприклад, під час знеструмлення чи пошкодження мереж внаслідок війни, коли неочищені стоки тимчасово скидаються напяму до водних об'єктів.

У промисловому секторі проблема полягає в недостатній потужності локальних очисних споруд. Наприклад, лише два підприємства молочної галузі мають локальні очисні установки: ПАТ «Баштанський сирзавод» та ПАТ «Лакталіс - Україна» [25]. Більшість інших промислових підприємств (особливо у Миколаєві) скидають стоки до міських систем, що перевантажує комунальну інфраструктуру.

Повномасштабна війна посилила проблему забруднення вод двома способами. По-перше, інфраструктурні руйнування та перебої з електропостачанням у 2022-2023 роках призводили до зупинки роботи очисних споруд. Як наслідок, у деяких містах і селищах стічні води потрапляли у довкілля без належної очистки. Зокрема, в період інтенсивних обстрілів Миколаєва 2022 року міська каналізаційна система працювала з перебоями, і були випадки

потрапляння каналізаційних стоків у річку Південний Буг та Бузький лиман [25]. Ну і звісно під час активних боїв на території Миколаївської області 2022 року у зону водозбору потрапила чимала кількість уламків боєприпасів, металів, вибухових речовин, які поступово вимиваються до водойм. На звільнених територіях фіксують забруднення ґрунтів нафтопродуктами (від згорілої техніки, пошкоджених складів паливно-змащувальних матеріалів), важкими металами і продуктами горіння, котрі під час дощів можуть потрапляти у стічні води, а далі в річки.

З нещодавніх катастроф, можна згадати влучання безпілотного літального апарата (БПЛА) у резервуар з олією 28 грудня 2024 року, внаслідок чого 1800 тонн олії витекло до Бузького лиману, 2 січня площа забруднення зросла до 9000 м², а товщина шару олії на деяких ділянках сягає 10 сантиметрів (рис. 2.13) [53].



Рис. 2.13. Масляна плівка на поверхні води [9]

Комунальні очисні споруди Миколаївської області є одним з головних джерел забруднення поверхневих вод. За умови високої зношеності інфраструктури, відсутності їх реконструкції та зростання водоспоживання у військовий час, проблема лише посилилася. Без термінової модернізації та створення аварійно-стійких систем очистки (енергонезалежних, із гнучким регулюванням) якість поверхневих вод регіону залишатиметься на низькому рівні, особливо в Миколаєві.

Отже, поверхневі водні ресурси Миколаївської області переживають складний період, коли наявні природні обмеження посилюються антропогенним і техногенним тиском, доповненим негативним впливом війни. Річки мілішають, процеси евтрофікації посилюються, озера і ставки в літній період цвітуть та пересихають, лимани страждають від порушення сольового балансу і забруднень, очисні споруди не забезпечують належної якості води. Зміна гідрологічного режиму (через клімат і зарегулювання) у поєднанні з забрудненням та деградацією екосистем вимагають впровадження інтегрованих підходів до водокористування. Актуальними завданнями є: адаптація до кліматичних змін (раціональний розподіл водних ресурсів у посуху, збереження водно-болотних угідь як буферів), відновлення та модернізація водогосподарської інфраструктури (зокрема після руйнувань), посилення контролю за скидами і впровадження сучасних технологій очищення вод, а також екосистемне відновлення малих річок та лиманів. Лише за таких умов можна зменшити антропогенні та екологічні ризики у водокористуванні регіону та забезпечити сталість водних ресурсів Миколаївщини в майбутньому.

2.4. Система управління та охорони водних ресурсів області

Управління та охорона водних ресурсів в Україні базуються на водному кодексі України та законі про питну воду та водопостачання, а також на державних програмах [54]. На загальнодержавному рівні діє програма «Питна вода України», спрямована на забезпечення населення якісною питною водою та розвиток водопровідно-каналізаційної інфраструктури [54]. Ця програма покликана

реалізувати державну політику на регіональному рівні, а саме: підвищити якість послуг централізованого водопостачання, покращити стан водопровідних мереж та забезпечити населення області питною водою нормативної якості та в достатніх обсягах. Окремо в області діє Комплексна програма охорони довкілля Миколаївської області на 2021-2027 роки, що охоплює питання раціонального використання і захисту всіх природних ресурсів, у тому числі водних. Метою цієї програми є досягнення екологічно безпечного стану довкілля та екосистем, зменшення техногенного навантаження на поверхневі й підземні водні об'єкти шляхом скорочення скидів недостатньо очищених стічних вод. У її рамках передбачено реалізацію природоохоронних заходів, таких як будівництво та реконструкція очисних споруд, заходи з охорони водних об'єктів, моніторинг якості вод тощо. Таким чином, нормативно-правова база водного управління в області складається з поєднання загальнодержавних актів (кодексів, законів, держпрограм) та регіональних програм і рішень, що деталізують виконання державної політики з урахуванням специфіки Миколаївщини.

Щодо системи управління водними ресурсами, то в Україні вона є багаторівневою, вона поєднує державні органи та місцеве самоврядування. Центральним органом виконавчої влади, що формує і реалізує державну політику у сфері розвитку водного господарства, меліорації та відтворення водних ресурсів, є Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство). Йому підпорядковуються басейнові та регіональні структури. Принцип басейнового управління, запроваджений водним кодексом, передбачає управління водними ресурсами за басейновим принципом, тобто в межах річкових басейнів, а не адміністративних областей. Миколаївська область значною мірою лежить в межах басейну річки Південний Буг (близько 60% території), тому ключову роль відіграє Басейнове управління водних ресурсів річки Південний Буг (БУВР Південного Бугу) [25]. Фактично БУВР здійснює планування та контроль використання водних ресурсів басейну, участь у розробці плану управління річковим басейном та роботу з басейною радою [55]. Окремим територіальним підрозділом є регіональний

офіс водних ресурсів у Миколаївській області (РОВР), утворений наприкінці 2018 року. Він виконує практичні завдання управління водним господарством на місцевому рівні: експлуатацію державних меліоративних систем, моніторинг водних об'єктів, ведення водного кадастру, взаємодію з органами влади та водокористувачами. Основні завдання РОВР включають реалізацію державної політики у сфері використання і відтворення вод, координацію забезпечення населення та галузей економіки водними ресурсами, а також спрямування діяльності підпорядкованих Держводагентству організацій у межах області [56]. В сумі виходить, що БУВР займається стратегічним басейновим плануванням, а РОВР втілює завдання на практиці, на території області.

Важливу роль у водному менеджменті відіграють і органи місцевої влади. Миколаївська обласна військова адміністрація через департамент екології та природних ресурсів здійснює регіональне управління у сфері охорони вод і довкілля [54]. Органи місцевого самоврядування (об'єднані територіальні громади, міські, селищні та сільські ради) відповідають за водопостачання своїх населених пунктів, утримання комунальних водопровідних та каналізаційних мереж, благоустрій водних об'єктів місцевого значення (ставків, джерел тощо) [54]. До інших ключових органів належить державна екологічна інспекція, яка здійснює контроль за дотриманням природоохоронного законодавства, включно з охороною вод. Інспекція проводить перевірки підприємств-водокористувачів, контролює якість скидів і стан прибережних захисних смуг, застосовує санкції за порушення. Додатково моніторинг гідрометеорологічних показників (рівнів води, гідрохімії) здійснює обласний центр гідрометеорології (підпорядкований ДСНС), дані якого враховуються у водному балансі та при прогнозуванні водності.

ГІС дозволяють поєднувати різну за своєю суттю просторову інформацію: гідрологічні дані, показники якості вод, земельне використання, джерела забруднення, в єдиній цифровій картографічній основі, що значно полегшує роботу з аналізу спостережувальної ділянки та прийняття рішень, щодо неї.

Регіональний офіс водних ресурсів Миколаївської області, вже робить кроки до впровадження геоінформаційних систем, так у 2014 році було створено дослідний зразок геоінформаційної системи моніторингу якості вод і водокористування області, комплексної бази даних про водні ресурси регіону. Цю ГІС розроблено науковцями Вінницького національного технічного університету спільно з облводресурсами, в систему було внесено основні відомості про всі водні об'єкти Миколаївської області (річки, водосховища, ставки), дані багаторічного моніторингу якості вод (за 10 років), інформацію про водокористування та скиди стічних вод. Система функціонує як довідково-аналітичний ресурс: вона дає змогу переглядати показники стану будь-якої річки чи водойми, автоматично зіставляти їх з нормативами, виявляти проблемні точки на карті. Для публічного доступу до цих даних було створено спеціальний веб-портал, інтегрований з сайтом водного управління [58]. На цьому порталі, прив'язаному до картографічної основи Google Maps, користувачі могли отримати актуальну інформацію про кожен водний об'єкт області, його гідрографічні характеристики, якість води, наявність забруднювачів, фото тощо, однак на сьогодні важко це підтвердити, адже сайт застарів, а доступ до даних, котрі я перерахував втрачено, портал вже не надає такої інформації і все обмежується розмірами водного об'єкту, його назвою та місцезонашуванням.

Отже, Миколаївська область володіє розгалуженою системою управління та охорони водних ресурсів, яка спирається на державну нормативно-правову базу і регіональні програми. В області діють як державні інституції (басейнове управління, регіональний офіс Держводагентства), так і місцеві органи влади та контролюючі структури, що спільно відповідають за раціональне використання та захист вод. Ефективність цієї системи поступово зростає зокрема, через впровадження басейнового принципу та посилення координації (розробка Плану управління басейном Південного Бугу), але все ще стримується рядом проблем. Серед них незадовільний технічний стан очисних споруд та значний обсяг забруднених стоків, що негативно впливають на якість вод; неповне фінансове та технічне забезпечення моніторингу; вплив військових дій на екосистеми та

контроль. Водночас впровадження ГІС-технологій та сучасних інформаційних систем в управління водними ресурсами відкриває нові перспективи для області. Уже створені цифрові інструменти (регіональна ГІС водних ресурсів, онлайн-портали) закладають основу для прозорого моніторингу і планування. Масштабування цих ініціатив та інтеграція їх у загальнонаціональну систему дозволять підвищити ефективність охорони вод, своєчасно виявляти та вирішувати проблеми водокористування, забезпечити населення якісною водою сьогодні і в майбутньому.

РОЗДІЛ 3. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН СТАНУ РІЧОК ПІВДЕННИЙ БУГ І МЕРТВОВОД

3.1. Методологія геоінформаційного аналізу: дані, індекси та обробка супутникових знімків

Для дослідження змін поверхневих водних ресурсів річок Південний Буг та Мертвовод використовувалися космічні знімки з супутникової місії Sentinel-2, які доступні через платформу Copernicus Open Access Hub [4].

Sentinel-2 – це супутникова місія, що є частиною програми Європейського Союзу Copernicus, керованої Європейським космічним агентством. Головна мета місії – забезпечення систематичного та високоякісного моніторингу стану земної поверхні для підтримки вирішення завдань у сферах екології, управління земельними ресурсами, моніторингу водних об'єктів, сільського господарства, лісівництва, природних катастроф, тощо [59].

Орбіта супутників забезпечує повторюваність спостережень в приблизно кожні 5 днів для будь-якої точки земної поверхні в помірних широтах. Така частота знімання дозволяє проводити оперативний моніторинг різних динамічних явищ.

В дослідженні використовувався рівень обробки L2A, даний рівень обробки рекомендований для кількісного геоінформаційного аналізу, в тому числі для розрахунку спектральних індексів NDWI та дозволяє використовувати спектральну композицію False Color для зручності візуального аналізу супутникових знімків Sentinel-2.

В цілому, завдяки знімкам від Sentinel-2 ми в змозі провести аналіз рослинності (щільність та розповсюдженість), ідентифікувати приблизні межі водойм, оцінити ступінь заростання берегів береговою рослинністю й оцінити рівень цвітіння води завдяки наявності відповідних спектральних каналів у зеленому, ближньому та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах.

Другим джерелом супутникових знімків для дослідження була платформа Google Earth Pro, що використовує переважно високоякісні комерційні супутникові знімки [60]. Google Earth Pro надає значно вищу просторову роздільність, починаючи від 0,5 м/піксель. Найбільшою перевагою цього сервісу є можливість безкоштовного перегляду архівних зображень гарної якості за минулі роки, що дозволяє простежити детальну історичну динаміку змін берегової лінії та інших об'єктів, додатково платформа має мінімальний інструментарій для проведення вимірів площини [60]. Однак слід врахувати, що на відміну від Sentinel-2, Google Earth Pro надає знімки у природних кольорах (RGB), без можливості отримання багатоспектральних даних для індексного аналізу. Тому ці зображення використовуються для візуального підтвердження результатів, отриманих на основі кількісного аналізу знімків Sentinel-2 та в тих випадках, коли Sentinel-2 ще не запустили в космос.

У цьому дослідженні використано індекси та спектральні композиції для виділення води та рослинності на основі даних Sentinel-2.

Індекс NDWI (Normalized Difference Water Index) – це нормалізований різницевий водний індекс, за його допомогою на мультиспектральних знімках можна точно окреслити межі водойм, відстежувати зміни площі водного дзеркала та виявляти обміління чи підтоплення територій.

Окрім чисельних індексів, для візуального аналізу часто застосовується псевдокольорова композиція (False Color) відображення супутникових знімків. Принцип його полягає у поєднанні різних спектральних каналів в канали відтворення RGB таким чином, щоб слабовидимі для ока характеристики стали більш явними на зображенні [59]. Композити False color зручні для виявлення рослинності та води, адже вони наочно підкреслюють межу між сушею і водоймами, дозволяють розрізнити здорову рослинність (червоні кольори) та деградовану або просто відсутню (темні тони). У даній роботі

псевдокольорові зображення використовувалися для візуальної оцінки заростання берегів та цвітіння води.

Дослідження змін стану річок проводилося шляхом поєднання декількох методів картографічного аналізу. Перш за все, здійснювалося регулярне візуальне спостереження на екрані, розглядалися багатоспектральні знімки та їх композиції (насамперед у false color), щоб виявити очевидні зміни: заростання берегів чи зміна кольору води внаслідок її цвітіння.

Результати для різних років порівнювалися методом просторово-часового накладення, космічні знімки порівнювалися між собою за збільшенням рослинності на береговій лінії або скупченням синьо-зелених водоростей. Таке просторово-часове порівняння дозволило виокремити зони найбільш інтенсивних змін.

Також, було створено наочну, просту карту розкопки берегів річки Мертвовод в середовищі сучасної настільної ГІС QGIS, з застосуванням плагіну та карти OpenStreetMap. Використання QGIS зумовлене її ключовими перевагами, серед яких: безоплатність програмного забезпечення, низькі вимоги до технічного забезпечення (комп'ютера), що особливо важливо для студентських та наукових проєктів, мультиплатформенність та підтримка розширення через плагіни, завдяки чому програма швидко розвивається, проста у навчанні та надзвичайно гнучка у налаштуванні під потреби користувача. Для полегшення створення карти, було використано декілька плагінів QGIS: QuickOSM (OpenStreetMap) для підвантаження базових карт (топографічних основ та шарів OpenStreetMap) як підоснови, а також плагін Send to Google Earth (Send2GE) для швидкого переміщення між програмами зі збереженням координат ділянки місцевості, котра в цей час розглядалася.

Таким чином, поєднання можливостей QGIS (індексний аналіз, ГІС-моделювання) з наочністю Google Earth (детальні знімки, історичний таймлайн) забезпечило комплексний підхід до моніторингу.

В ході геоінформаційного аналізу річок Південний Буг і Мертвовод було виокремлено кілька ключових геоекологічних процесів, які впливають на стан поверхневих вод регіону, серед яких:

Прогресуюче заростання мілководних зон річок очеретом, ряскою, водоростями та іншою рослинністю. Цей процес є індикатором евтрофікації, надмірного збагачення водою біогенними елементами, що спричиняє «цвітіння води» влітку. Особливо вразливими до цвітіння води є ділянки зі слабкою течією та мілководдям, адже там вода прогрівається найсильніше.

Особливістю Південного Бугу є періоди зі зміною її напрямку течії (місцеві називають це явище «обраткою»), котрі є притаманними на ділянці після Олександрівської ГЕС (вниз за течією). Появу цього явища зумовлено як природними факторами малим похилом річки, так і зарегульованістю русла. Більша частина річкового стоку проходить навесні під час повені, тоді як влітку настає тривалий період межені з різким скороченням витрат води, тоді явище «обратки» є найчастішим. Наслідком цього є нагон солонуватої води з боку Бузького лиману, що може впливати на місцеві екосистеми.

Антропогенне зарегулювання Південного Бугу представлено каскадом гідротехнічних споруд поблизу м. Південноукраїнськ: це гребля Олександрівської ГЕС та Ташлицька гідроакumuлююча електростанція. Олександрівська ГЕС утворила водосховище об'ємом близько 72 млн.м³, яке стало нижнім резервуаром для роботи ГАЕС. Головною ціллю Олександрівської ГЕС є підйом і стабілізація рівня води для забору на Ташлицьку ГАЕС, а також накопичення паводкових вод. Проектом передбачено, що під час весняної повені значна частина стоку затримується у водосховищі, а протягом року використовується для виробництва енергії та поповнення стоку в посушливий період. Таким чином здійснюється сезонне регулювання стоку Південного Бугу, згладжуються пікові паводки (зводить нанівець можливості до самоочищення річки і її промивки), зменшуються природні припливи води вниз за течією. Влітку і восени річка отримує менше

води, ніж у природному стані, що веде до зниження рівня води, уповільнення течії та як згадувалося, явища «обратки». Окрім того, зарегулювання призводить до підвищення мінералізації води влітку, оскільки через зменшення притоку води і приріст температури посилюється випаровуваність.

Особливо суттєві зміни відбулися з малою річкою Мертвовод, лівою притокою Південного Бугу, на ньому теж було створене водосховище (Таборівське водосховище). В результаті природний стік Мертвоводу різко скоротився, адже значна частина води акумулюється у водосховищі. За регламентом експлуатації, рівень цього водосховища підтримується не вище 13,5 метрів, щоб не затопити прибережні села і здійснюються мінімальні екологічні попуски води всього 0,15 м³/с [61]. Такий мізерний стік фактично прирікає Мертвовод нижче за течією на пересихання в посуху. Ситуацію погіршили військові дії через зведення тимчасової насипної переправи через Мертвовод, що фактично перекриває русло в період межені, викликаючи застій та цвітіння води й масове розростання очерету та ряски.

3.2. Просторово-часовий аналіз річки Південний Буг від Олександрівської ГЕС до Вознесенська: заростання берегів, зміна водного дзеркала, біомаса

Аналіз супутникових даних Sentinel-2 за 2019, 2021, 2022, 2023 та 2024 роки (серпень і березень) виявив суттєві зміни стану річки Південний Буг у межах досліджуваної території (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Відображення досліджуваної території в композиті натуральних кольорів (True color). Дата знімання: 17.08.2021 [59]

Дослідження виконано методом візуального дешифрування багатоспектральних знімків Sentinel-2 (L2A) у багатоспектральній композиції псевдокольорів (False Color), де використовуються ближній інфрачервоний,

червоний та зелений канали. Така композиція добре показує рослинність червоними відтінками завдяки високому відбиттю рослинами інфрачервоного випромінювання, тоді як вода поглинає інфрачервоні промені і тому виглядає темною (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Відображення досліджуваної території в багатоспектральній композиції псевдокольорів (False color). Дата знімання: 17.08.2021 [59]


Також, застосовувалися космічні знімки Google Earth Pro, адже в них можна більш детально переглянути певні ділянки, де роздільної здатності Sentinel-2 не вистачає і додатково є можливість перегляду космічних знімків починаючи з 1985 року (використано кілька разів).



Відповідно, за знімками Sentinel-2 проведено оцінку змін берегової рослинності (її щільності й біомаси) та зміни водного дзеркала річки.

Один з найбільш помітних результатів є істотне заростання берегів Південного Бугу прибережною рослинністю. На знімках з відображенням False color 2019-2024 рр. проглядається поступове розширення червоних смуг вздовж русла та цвітіння води, що вказує на збільшення площ заростей очерету та інших вологолюбних видів (табл.3.1). Польові спостереження екологів також фіксують аналогічну тенденцію: у середній течії, зокрема в районі Мигії (вище за Вознесенськ), береги річки все більше покриваються очеретом на тлі обміління та замулення русла [62].



Таблиця 3.1.

Виокремлені знімки з місцями активного цвітіння води річки Південний Буг на досліджуваній ділянці [59]

Дата	Знімок	Опис
26.08.2019		Білим кольором обведено місця скупчення ціанобактерій на ділянці 47°38'3" Пн.ш. 31°13'11"Сх.д.

17.08.2021		<p>Білим кольором обведено місця скупчення ціанобактерій на ділянці 47°38'3" Пн.ш. 31°13'11"Сх.д. Цього року їх кількість є меншою, через більшу кількість опадів. Також можлива похибка, через дату знімання та розміри скупчень ряски й синьо-зелених водоростей, адже алгоритм міг просто не спрацювати через їх розміри та розташування на воді.</p>
22.08.2022		<p>Білим кольором обведено місця скупчення ціанобактерій на ділянці 47°38'3" Пн.ш. 31°13'11"Сх.д. Цього разу скупчення синьо-зелених водоростей зафіксовано вище по течії, близько Олександрівського водосховища. Причини їх формування, ті самі: повільна течія та нагрівання води</p>

Продовження таблиці 3.1

20.08.2023		<p>Білим кольором обведено місця скупчення ціанобактерій та ряски на ділянці 47°38'3" Пн. ш. 31°13'11"Сх.д. та вище за течією. 2023 рік є одним з найбільш маловодним за весь період спостережень під час дослідження. Скупчень ціанобактерій та ряски стало набагато більше через нагрівання води та її малу кількість</p>
26.08.2024		<p>Білим кольором обведено місця скупчення ціанобактерій та ряски на ділянці 47°38'3" Пн.ш. 31°13'11"Сх.д. та вище за течією. 2024 рік, виокремився можливістю розглядіти цвітіння води на території самого Олександрівського водосховища (північно-західна частина знімку).</p>

Збільшення біомаси прибережних екосистем напряму пов'язане зі зміною гідрологічного режиму через зарегулювання річки Південний Буг. Поетапне підняття нормального підпірного рівня (НПР) Олександрівського водосховища, яке розташоване вище за течією, спричинило подальше звуження русла це можна прослідкувати за знімками з Google Earth Pro:

Олександрівське водосховище, до підняття рівня води, мало максимальний НПР 8 метрів, що не так сильно впливало на режим Південного Бугу (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Територія Олександрівської ГЕС станом на 11.07.2002. Координати:
Пн.ш. 47°42'12.17" Сх.д. 31°15'14.73" [60]

Згодом, при завершенні будівництва Ташлицької ГАЕС та введенні її в експлуатацію (14 вересня 2006 року), було прийнято рішення, підвищити НПР Олександрівського водосховища до позначки в 14,7 метрів, що призвело до затоплення значних територій, зокрема земель НПП «Бузький гард» (рис. 3.4).

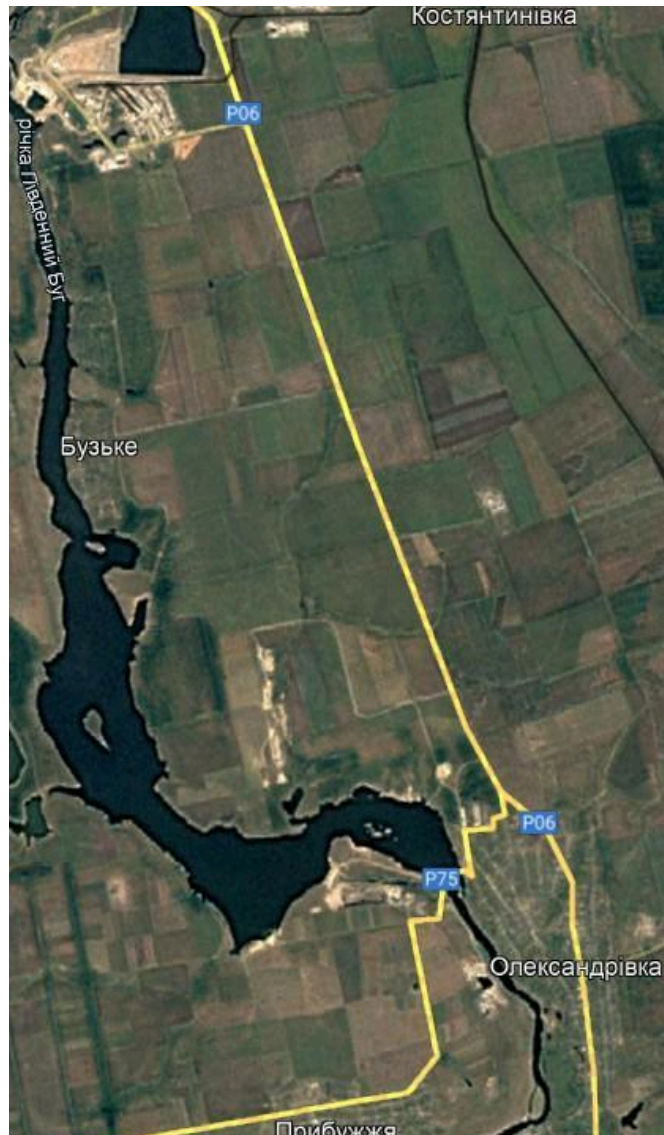


Рис. 3.4. Територія Олександрівської ГЕС станом на 31.12.2006 Координати:
Пн.ш. 47°42'12.17" Сх.д. 31°15'14.73" [60]

У 2010-2011 роках НПР водосховища, сягнув вже 16 метрів, підняття рівня пояснили необхідністю в накопиченні додаткових запасів води для побутових потреб (рис. 3.5) [65].

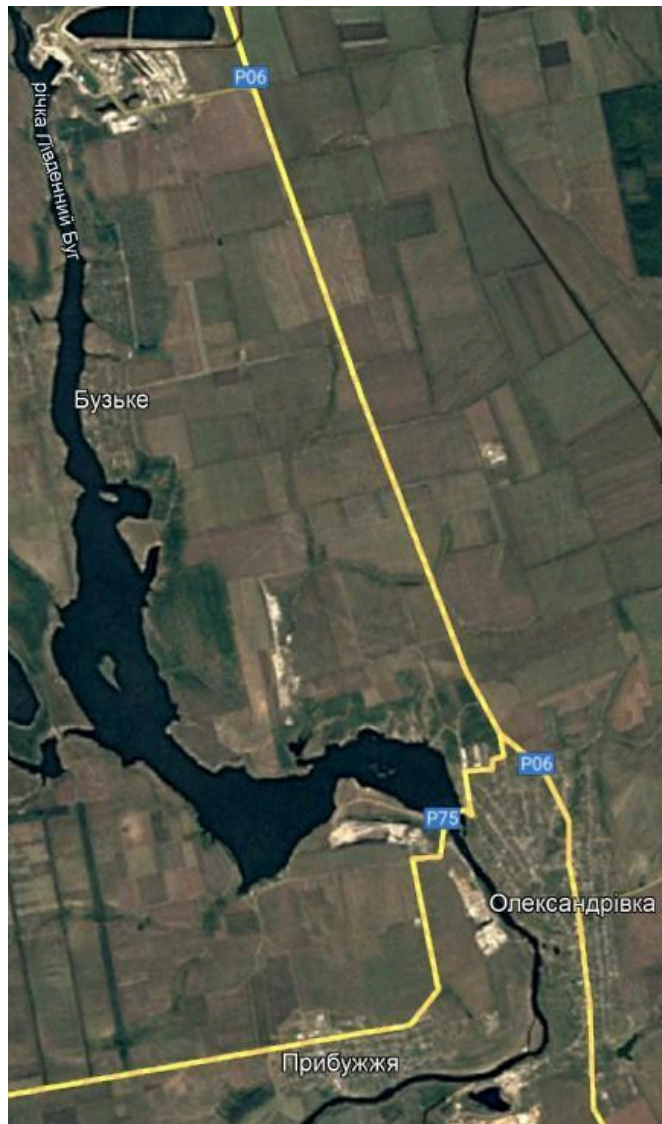


Рис. 3.5. Територія Олександрівської ГЕС станом на 31.12.2011 Координати:
Пн.ш. 47°42'12.17" Сх.д. 31°15'14.73" [60]

Станом на сьогодні, подальшого підняття НПР не відбувається, але вже проводяться дискусії, щодо підняття його до відмітки до 20,7 метрів (рис. 3.6).

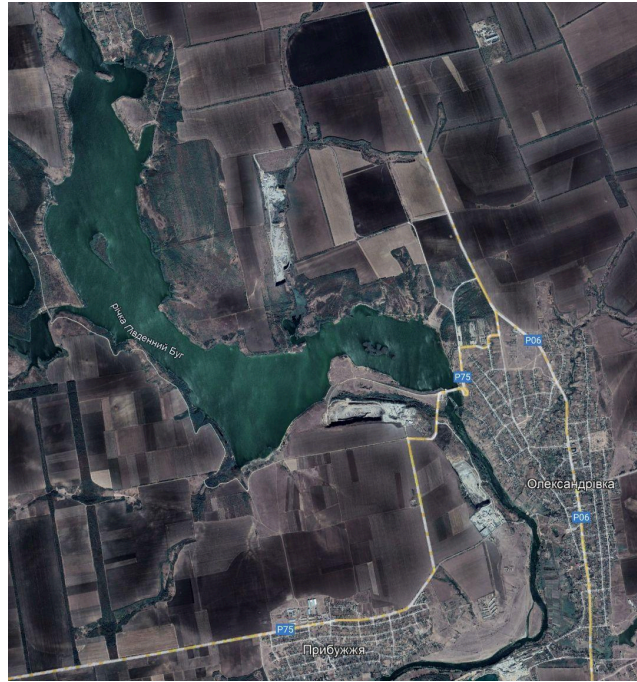


Рис. 3.6. Територія Олександрівської ГЕС станом на 17.09.2020 Координати:
Пн.ш. $47^{\circ}42'12.17''$ Сх.д. $31^{\circ}15'14.73''$ [60]

У наукових джерелах зазначається пряма залежність: заростання русла активно прогресує внаслідок підняття рівня Олександрівського водосховища [63].

Підвищення рівня Олександрівського водосховища, окрім заростання берегів, вплинуло і на конфігурацію водної поверхні: за даними досліджень, після кожного етапу підняття рівня спостерігалось невинне звуження річки нижче греблі (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Космічний знімок ділянки річки Південний Буг, поблизу села Прибужани. Верхній знімок виконаний 11.07.2002, ширина відкритої води складає 140 метрів, нижній – 12.11.2021, ширина – 118 метрів [60].

Як згадувалося, на відмітці 16 метрів НПР у Олександрівському водосховищі, зупинятися не збираються. Через нестачу маневрових потужностей, на Ташлицькій ГАЕС планують побудувати ще 3 гідроагрегати,

разом буде 6 гідроагрегатів, через, що є необхідність в піднятті рівня Олександрівського водосховища до 20,7 метрів НПР [66]. Підняття рівня до такої позначки спричинить затоплення земель НПП «Бузький гард» та ще сильніше вплине на гідрологічний режим Південного Бугу та посилить теперішні процеси замулення та евтрофікації водойми, опираючись на результати попередніх досліджень.

Також, варто згадати про реалізацію проекту з днопоглиблення річки Південний Буг. Метою було поглибити судновий хід річки до новозбудованого перевантажувального терміналу, щоб забезпечити прохід барж із зерном. З 2015 по серпень 2016 року було поглиблено необхідні ділянки річки Південний Буг на шляху до міста Вознесенськ до проектних 2,3 метри. Донні ґрунти були чистими та вимивалися на береги за допомогою земснаряду, де були створені карти наміву, пізніше увесь ґрунт було вивезено та частково розподілено по поверхні, де він намівався (рис. 3.8) [67].



Рис. 3.8. Робота земснаряду компанії НІБУЛОН [67].

За даними прес-центру «НІБУЛОН», роботи дали змогу відновити навігацію та пожвавити економіку регіону, компанія проводить регулярні

зариблення річки випускаючи до води мальків товстолоба, білого амура і коропа як компенсаційний захід для рибного господарства (рис. 3.9) [68].



Рис. 3.9. Процес зариблення річки [68]

Унікальною гідрологічною особливістю Південного Бугу на ділянці дослідження є явище нагінних коливань рівня води, який може спричиняти реверсивну течію річки. Хоча місто Вознесенськ розташоване на значній відстані від гирла (близько 100 кілометрів), вплив нагону води з Бузького лиману може відчуватися і тут. Нагінні вітри з боку Чорного моря (переважно південно-західні вітри) здатні підвищувати рівень води в Дніпровсько-Бузькому лимані, що призводить до просування морської води вгору по річці, змінюючи напрям течії на протилежний, вода починає рухатися вгору по Південному Бугу. Місцеві, як вже згадувалося, називають це явище «обраткою», воно може повторюватися двічі на добу, найчастіше в період межені, вночі, адже в цей час зменшується стік води з Олександрівської ГЕС, а хвиля з лиману стає сильнішою.

Отже, Просторово-часовий аналіз р. Південний Буг у межах досліджуваної ділянки за допомогою геоінформаційних методів (супутникового моніторингу Sentinel-2 та Google Earth Pro) показав комплексну картину змін, зумовлених як природними, так і антропогенними чинниками. За період 2019-2024 рр. зафіксовано: значне розростання берегової рослинності внаслідок замулення берегів, поступове звуження русла і зменшення площі водного дзеркала під впливом підняття рівня Олександрівського водосховища та зменшення природного стоку останніх років, прояв реверсивних течій, пов'язаних з нагінними процесами з боку лиману. Отримані результати підкреслюють необхідність збалансованого підходу до використання та охорони водних ресурсів Південного Бугу. Подальше зарегулювання річки (планування підняття рівня Олександрівського водосховища до 20,7 м) слід детально оцінювати, аби мінімізувати екологічні ризики з підтоплення земель НПП «Бузький гард» та знищення тамтешніх рідкісних видів тварин та рослин.

3.3. Аналіз річки Мертвовод: вплив війни, перекриття русла, деградація прибережних територій

Річка Мертвовод є лівою притокою Південного Бугу з унікальною каньйоноподібною долиною та багатою історією (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Частина Актовського каньйону, яким протікає річка Мертвовод [71]

На жаль, за останні десятиліття його екосистема зазнала суттєвої деградації внаслідок зарегулювання стоку, евтрофікації та військових дій. Колись Мертвовод вважався повноводною і навіть частково судноплавною річкою [69]. Однак масове будівництво дамб в регіоні у ХХ столітті значно сповільнило течію, спричинило замулення русла та застійні явища (рис. 3.11).



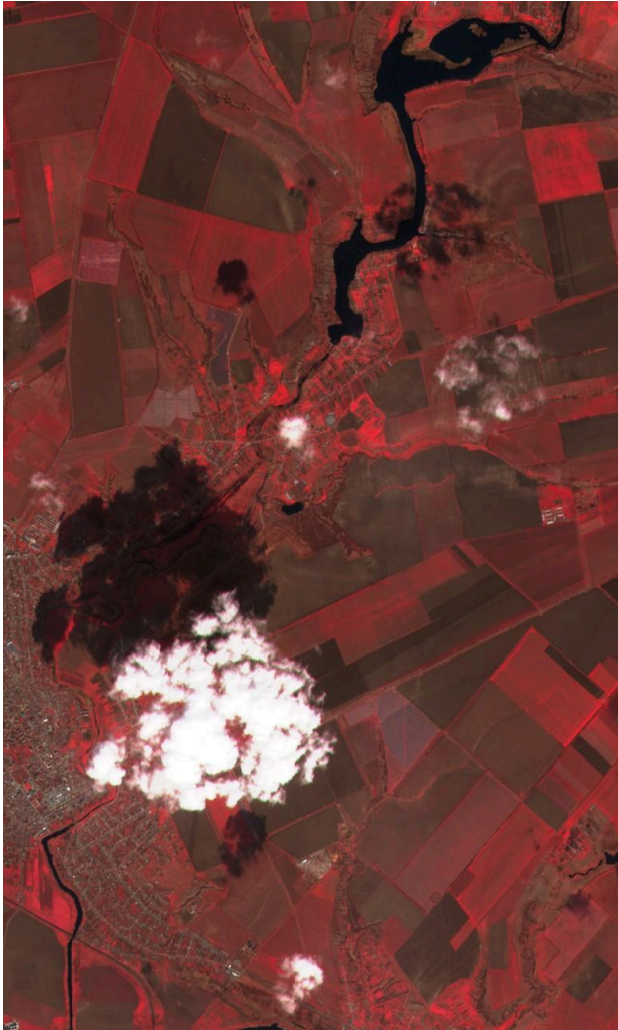

Рис. 3.11. Таборівське водосховище з висоти пташиного польоту [72]

В результаті русло Мертвоводу заросло очеретом і водоростями, а окремі ділянки фактично перетворилися на болото, яке можна перейти вброд. Така втрата проточності різко знизилась здатність Мертвоводу до самоочищення, у стоячій воді накопичуються органічні залишки і надлишок біогенних елементів, що призводить до «цвітіння» води (бурхливого розвитку ціанобактерій) та дефіциту кисню, евтрофікації.

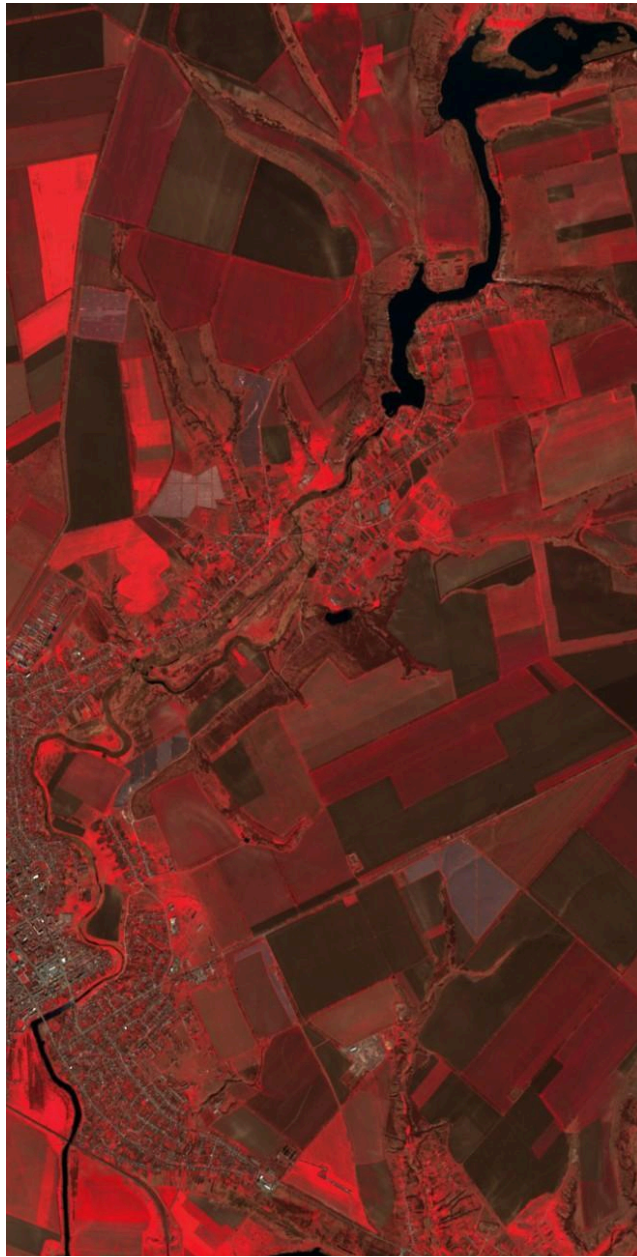
Для оцінки динаміки стану Мертвоводу було застосовано методи дистанційного зондування: використано супутникові знімки Sentinel-2 (рівня L2A) у False Color-композиції, що допомагає ідентифікувати рослинність. Обрано порівняння знімків весняного періоду (березень) і літнього меженевого періоду (серпень) за 2019, 2021, 2022, 2023 і 2024 роки, тобто до і після початку війни. На знімках за березень помітно, що навесні річка повноводніша: водне дзеркало видно краще, береги менш зарослі (частково через підтоплення прибережної рослинності сезонним паводком) (табл. 3.2).

Знімки річки Мертвовод за березень, досліджуваних років [59]


Дата	Знімок	Опис
31.03.2019	 An aerial photograph of a river valley. The river is visible as a dark, winding line through the landscape. The surrounding area is a patchwork of agricultural fields in various shades of brown, tan, and green. There are some buildings and structures scattered throughout, particularly in the lower-left and middle-right sections. The overall scene depicts a rural, agricultural landscape.	<p>Демонстрація досліджуваної ділянки річки Мертвовод у березні, можна побачити міську забудову – Вознесенськ і Таборівське водосховище у північно-східній частині знімку. Навесні процеси евтрофікації та цвітіння водойми ще не такі явні.</p>

28.03.2021		<p>На даному знімку немає особливих змін у порівнянні з 2019 роком, тільки хмарність в цей період завадила обрати найбільш вдалий знімок для демонстрації.</p>
23.03.2022		<p>На даному знімку, видно зміни, на берегах була прибрана рослинність, а на одному з поворотів Мертвоводу, видно переправу, котру тимчасово збудували, через підірваний міст і необхідність у відновленні транспортного сполучення з південною частиною області.</p>

23.03.2023





На даному знімку, знову ж таки, яскравих змін з руслом річки Мертвовод зафіксовано не було, тимчасова переправа так і залишається на своєму місці, прибережна рослинність поступово відновлюється.

09.03.2024	 A false-color satellite image showing a landscape with a prominent river or stream winding through it. The water is dark, and the surrounding land is divided into various agricultural plots, some appearing in shades of red and brown. The overall scene is a mix of natural and human-made features.	<p>На даному знімку, видно, що водне дзеркало стало дещо меншим, ніж за минулі роки, що може бути спричинено меншою кількістю опадів.</p>
------------	--	---



Для серпневих сцен характерним є значне збіднення стоку, русло звужується, вода прогрівається, що проявляється у False Color як яскравіші ділянки з пришвидшеним розвитком водоростей та рослинності загалом (табл. 3.3).


Знімки річки Мертвовод за серпень, досліджуваних років [59]

Дата	Знімок	Опис
26.08.2019	 An aerial photograph of the Mervod river area in August 2019. The image shows a large, dark, irregularly shaped reservoir in the upper right quadrant. The surrounding landscape is a patchwork of agricultural fields, some of which are highlighted in red, indicating specific areas of interest or damage. The river itself is visible as a dark line winding through the fields. The overall scene depicts a rural area with significant water features.	<p>Демонстрація досліджуваної ділянки річки Мертвовод у серпні, можна побачити міську забудову – Вознесенськ і Таборівське водосховище у північно-східній частині знімку. Видно набагато більшу кількість, адже кольори стали більш насичені рослинність на берегах. На окремих ділянках видно цвітіння води.</p>

<p>17.08.2021</p>		<p>На даному знімку немає особливих змін у порівнянні з 2019 роком, процеси евтрофікації так само активні, рослинність на берегах поширюється.</p>
-------------------	---	--

Продовження таблиці 3.3

22.08.2022		<p>На даному знімку вперше видно вплив насипної переправи через постійний водотік – річку Мертвовод. На місці насипу зафіксовано велике скупчення ряски та синьо-зелених водоростей, що спричиняє погіршення стану води та зменшення кисню в ній. Прискорюються процеси замулення та заростання русла, загалом.</p>
20.08.2023		<p>На даному знімку цвітіння води, безпосередньо перед насипом немає. Відсутність ряски перед насипом може бути пояснена, тим, що в даний момент відсутнє застійне явище, через вищий рівень води, ніж раніше, тобто річка продовжує протікати під насипом, по трубах, котрі там були і застій води відсутній.</p>

26.08.2024		<p>На даному знімку цвітіння води, безпосередньо перед насипом знову відсутнє, чого не можна сказати про верхні частини річки, де тільки через велику концентрацію берегової рослинності можна зрозуміти, де протікає річка.</p>
------------	---	--

Площа водного дзеркала Мертвоводу в літні місяці поступово скорочується: за візуальною оцінкою зображень Sentinel-2, у серпні 2019 р. річка займала більшу площу, ніж у серпні 2023 р., причому скорочення йде за рахунок мілководних зон, що заросли вищою водною рослинністю.

Таким чином, геоінформаційний моніторинг підтверджує: протягом 2019-2024 років Мертвовод поступово втрачає свої водні простори і «старіє» як екосистема, набуваючи рис застійного водоймища (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Пік цвітіння води, зафіксований 22 серпня 2022 року [6].

Окрему увагу привертають зміни в районі міста Вознесенськ під час активних бойових дій березня 2022 року. Місто Вознесенськ має стратегічне значення, оскільки розташоване неподалік Південноукраїнської АЕС і через нього проходить шлях до Одеси. Річка Мертвовод, що протікає через Вознесенськ, стала природною перешкодою на шляху російського наступу з півдня. 2 березня 2022 року українські захисники зустріли росіян на в'їзді у Вознесенськ [70]. Було організовано інженерні роботи, було розкопано прибережну смугу річки Мертвовод, аби російська бронетехніка не змогла подолати воду вбхід (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Стан берегу річки Мертвовод, після проведення інженерних робіт, станом на 16 квітня 2022 року

Дії з розкопки берегів виявилися ефективними, ворог втратив можливість швидко форсувати Мертвовод і зазнав значних втрат під час маневрів, що зрештою зірвало заплановане захоплення Вознесенська (рис. 3.14).



Рис. 3.15. Розкопаний беріг Мертвоводу та насипна переправа

На знімках Sentinel-2 за серпень 2022 р. ця переправа чітко фіксується як світла смуга на поверхні Мертвоводу (рис. 3.16).



Рис. 3.16. Насипна переправа та цвітіння води біля неї, станом на 22.08.2022 [59]

Аналіз зображень вказує, що поява цієї дамби спричинила штучна перепона русла. Фактично, річка втратила проточність на цій ділянці, перетворившись на дві ізольовані частини, з'єднані лише через дренажні труби.

Внаслідок застою, що утворився, у частині мертвоводу, що вище насипу активно розрослася рослинність. Тепер кожного року, в період межені та нагрівання води, можна виявити почервоніння площі води у False Color (свідчення буйного розвитку біомаси), тоді як у попередні роки на цьому місці була проточна ділянка з відкритою водною поверхнею.

Таборівське водосховище також змінило гідрологічний баланс, адже воно перехоплює частину ґрунтового та річкового стоку, через що в посушливі періоди спостерігається обміління Мертвоводу. Таким чином, вплив водосховищ проявляється у втраті природної динаміки Мертвоводу, тенденції до застійних явищ і заростанні його русла.

Отже, проведене геоінформаційне дослідження річки Мертвовод виявило критичне погіршення її стану під впливом як довготривалих антропогенних чинників, так і військових дій 2022 року. Супутниковий моніторинг підтверджує тенденцію до замулення та заростання русла, втрати ним проточності та здатності до самоочищення. Створення насипного мосту на постійному водотоці, спричинило погіршення гідроекологічної ситуації на ділянці Мертвоводу. Зарегульованість річки внаслідок діяльності множинних ставків та Таборівського водосховища залишається фундаментальною проблемою, адже без відновлення природного стоку будь-які рекультиваційні заходи будуть малоефективними. Лише повернення Мертвоводу хоча б частини його природної динаміки стоку дозволить зупинити подальшу деградацію та відродити унікальну екосистему цієї річки.

3.4. Інтерпретація результатів та оцінка екологічної трансформації водного середовища

Просторово-часовий аналіз річок Південний Буг і Мертвовод за допомогою супутникових знімків Sentinel-2 та Google Earth Pro (2019-2024) виявив суттєві трансформації водного середовища регіону. Результати ГІС-моніторингу підтверджують антропогенне перевантаження річкових систем, спостерігається надмірна зарегульованість русел численними греблями, заростання прибережних

зон, прояви евтрофікації та зниження здатності водних об'єктів до самоочищення та інтенсивне замулення. На ділянці Південного Бугу в межах дослідження, зафіксовано прогресуюче заростання берегів і скорочення відкритої водної поверхні через наносні відклади та «цвітіння» води. Одночасно річка Мертвовод зазнала різких змін під впливом військових дій у 2022 році, тимчасова насипна переправа, зведена в її руслі, почала перекривати течію в період межені, що призвело до застою води, масового розростання очерету, ряски та ціанобактерій і як наслідок до різкого погіршення якості води та погіршення умов існування водної фауни.

Використання методів дистанційного ГІС-моніторингу дозволило зафіксувати наведені зміни без фізичної присутності на місцевості. Знімки Sentinel-2 з високою просторовою та спектральною здатністю проаналізовано у False Color-композиціях та з використанням спектральних індексів NDWI, що дозволило окреслити межі водного дзеркала і виявити найбільш проблемні зони заростання берегів чи аномального «цвітіння» води без проведення польових вимірювань. Такий підхід особливо цінний для небезпечних або важкодоступних регіонів: сучасні дистанційні технології надають можливість отримувати актуальну інформацію про стан довкілля там, де наземний моніторинг ускладнений або неможливий.

Отримані результати демонструють значний потенціал дистанційного ГІС-моніторингу для екологічного нагляду в умовах війни. Регулярний аналіз космічних знімків дає змогу оперативно виявляти негативні зміни (наприклад, забруднення, пошкодження гідротехнічної інфраструктури чи застійні явища) і своєчасно передавати ці дані органам влади для прийняття подальших рішень. Інтеграція ГІС-технологій і даних ДЗЗ забезпечує високу просторову точність, повторюваність спостережень та наочність результатів, які мають практичну цінність для водогосподарського планування.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження було здійснено комплексний аналіз стану, використання та системи управління поверхневими водними ресурсами Миколаївської області із залученням сучасних геоінформаційних технологій. У результаті виконаної роботи отримано такі основні наукові та практичні результати:

1. Здійснено фізико-географічну характеристику природних передумов формування поверхневих водних ресурсів Миколаївської області. Уточнено гідрографічну мережу, типи поверхневих водних об'єктів, просторову неоднорідність їх розміщення. Встановлено, що річки є домінуючими водними об'єктами в області, а природні озера мають локалізований характер. Розкрито вплив кліматичних чинників на водність річок, зокрема сезонну динаміку Південного Бугу.

2. Охарактеризовано сучасний стан та структуру водокористування в Миколаївській області за період 2019-2023 років. Під впливом військових дій, втрати водопостачання з Дніпра, а також зростання потреб населення в придатній до використання воді, відбулося різке коливання обсягів водозабору, від 200,2 млн.м³ у 2021 році до 95,7 млн.м³ у 2022 та до 195 млн.м³ у 2023 році. Основні водокористувачі – комунальні підприємства, енергетичний та аграрний сектори. Комунальні очисні споруди, як правило, технічно застарілі та не забезпечують нормативного очищення стічних вод.

3. Виявлено ключові антропогенні та екологічні виклики у сфері водокористування та охорони вод, серед основних загроз виділено: скидання забруднених стічних вод, дифузне забруднення з сільськогосподарських угідь, евтрофікацію водойм, замулення, незадовільний технічний стан очисних споруд. Суттєвий вплив на якість поверхневих вод має війна: руйнування інфраструктури, зміна джерел водопостачання, обмеження доступу до моніторингових точок. Проблеми у системі управління водними ресурсами включають дублювання функцій між органами влади, фрагментарність екологічних програм та обмежену участь громад.

4. Проведено просторово-часовий аналіз стану річки Південний Буг за період 2019-2024 років із використанням супутникових знімків Sentinel-2 та Google Earth Pro. У результаті дослідження виявлено суттєві трансформації водного середовища: прогресуюче заростання берегів рослинністю, цвітіння води, звуження водного дзеркала внаслідок замулення, а також зниження швидкості течії у зв'язку з підняттям рівня Олександрівського водосховища. Виявлено унікальне явище зворотної течії («обратки»), що формується в періоди межені через нагінні коливання води з боку Бузького лиману. Продемонстровано вплив зарегулювання річки на сезонне згладжування паводків, що в свою чергу, знижує самоочисну здатність річки. Отримані результати дозволяють ґрунтовно оцінити екологічні загрози Південного Бугу та сформулювати необхідність збалансованої водогосподарської політики.

5. Здійснено ГІС-моніторинг екосистеми річки Мертвовод на основі супутникових знімків Sentinel-2 у False Color-композиції та індексу NDWI встановлено тенденцію до обміління, втрати проточності та прогресування застійних явищ. Виявлено, що після зведення тимчасової насипної переправи Мертвовод був частково розділений, що викликало застій води, масове розростання ряски, очерету та водоростей. Зменшення площі водного дзеркала і цвітіння води фіксуються протягом усього періоду дослідження. Гідрологічна ситуація ускладнена впливом Таборівського водосховища, яке перехоплює природний стік. Крім того, дослідження продемонструвало унікальний випадок, коли річка відіграла оборонну роль у зупинці наступу російських військ на м. Вознесенськ у 2022 році. Системна деградація річки Мертвовод вимагає пріоритетного втручання в екологічну політику та заходів ревіталізації. Отримані результати підкреслюють потенціал дистанційного моніторингу як ефективного інструменту для спостереження за малими водотоками навіть під час ведення бойових дій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водні ресурси. ВУЕ. URL: https://vue.gov.ua/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%96_%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%80%D1%81%D0%B8 (дата звернення: 24.04.2025)
2. Хільчевський В. Водні та збройні конфлікти – класифікаційні ознаки: у світі та в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2022. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.1.1> (дата звернення: 25.04.2025)
3. Обстріляні очисні споруди Миколаєва біля с. Галицинове. URL: <https://vn.mk.ua/ru/obstrilyani-ochisni-sporudi-mikolayeva-bilya-s-galitsinove/> (дата звернення 20.05.2025)
4. Copernicus Browser. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.7861> (дата звернення: 21.05.2025).
5. Звеків М.Ю. Ревіталізація та днопоглиблення річки Південний Буг: сучасний стан, перспективи. С. 46-48. Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи. Збірник наукових праць за матеріалами щорічної наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої пам'яті професора Г. П. Дубинського; 13 квітня 2023 року, м. Харків. URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/17814>
6. Звеків М. Ю. Дистанційний моніторинг гідрологічних змін, що спричинені бойовими діями (на прикладі ділянки річки Мертвовод) С. 74-77. Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи. Збірник наукових праць за матеріалами щорічної наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої пам'яті професора Г. П. Дубинського; 13 квітня 2023 року, м. Харків URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18878>
7. Water Conflict. World Water. URL: [http://www.worldwater.org/water-conflict/​:contentReference\[oaicite:4\]{index=4](http://www.worldwater.org/water-conflict/​:contentReference[oaicite:4]{index=4) (дата звернення: 25.04.2025)

8. Семинар по використанню інструментів ГІС. Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області. URL: <https://mk-vodres.davr.gov.ua/node/2156>. (дата звернення: 25.04.2025)
9. Офіційний Telegram-канал Міндовкілля України. URL: t.me/mindovkillia/3921 (дата звернення 24.05.2025)
10. EO Browser – Sentinel Hub. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> (дата звернення: 23.05.2025)
11. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. Int. Journal of Remote Sensing. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714> (дата звернення 03.05.2025)
12. QGIS – Geographic Information System. URL: <https://qgis.org/> (дата звернення: 02.06.2025)
13. Басейнове управління водних ресурсів річки Південний Буг. Офіційний сайт. URL: <https://buvrpb.davr.gov.ua/> (дата звернення 06.05.2025)
14. Клименко В. Г. Гідрологія України: Навчальний посібник для студентів-географів. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2010.
15. Мигія. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%B3%D1%96%D1%8F> (дата звернення: 06.05.2025).
16. Ґрунти України. Географія. URL: <https://geografiamozil2.jimdofree.com/%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0/%D2%91%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D0%B8-%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8/> (дата звернення: 06.05.2025)
17. Кравченко К. М. Сучасний стан ґрунтів Миколаївської області. К. М. Кравченко, О. В. Кравченко. Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2012_179_167_6.

18. Волощук М. Деградація ґрунтів - глобальна екологічна проблема / М. Волощук. Вісник Львівського університету. Серія географічна. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Geograf_2017_51_9.

19. Щетина М.А. Гнатюк Н.О. Щетина С.В. Оцінка стану та рівня використання водних ресурсів Миколаївської області. Таврійський науковий вісник. 2021. №118. URL: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.50>

20. Південний Буг. ВУЕ. URL:https://vue.gov.ua/%D0%9F%D1%96%D0%B2%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%91%D1%83%D0%B3 (дата звернення: 06.05.2025)

21. Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області. URL: <https://mk-vodres.davr.gov.ua/node/1148> (дата звернення: 06.05.2025)

22. Рахматуліна Е. ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ РІЧОК БАСЕЙНУ ПІВДЕННОГО БУГУ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ. URL: https://scc.knu.ua/upload/iblock/ad2/dis_Rakhmatullina%20E..pdf

23. Гранітно-степове Побужжя. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5_%D0%9F%D0%BE%D0%B1%D1%83%D0%B6%D0%B6%D1%8F (дата звернення: 07.05.2025)

24. Інгул. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D0%B3%D1%83%D0%BB> (дата звернення: 07.05.2025)

25. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2023 році. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1726742763.pdf> (дата звернення: 07.05.2025)

26. Бузький лиман. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D>

[0%B8%D0%B9_%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BD](#) (дата звернення: 07.05.2025)

27. Дніпровський лиман. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BD%D1%96%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BD (дата звернення: 07.05.2025)

28. Snizhko S., Didovets I., Shevchenko O. et al. Southern Bug River: water security and climate change perspectives for post-war Mykolaiv. URL: <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1447378>

29. Dam Removal Europe. URL: <https://damremoval.eu/>. (дата звернення 07.05.2025)

30. Новий водозабір з Південного Бугу: як Миколаїв два роки живе без питної води. Суспільне. URL: <https://suspilne.media/mykolaiv/756577-novij-vodozabir-z-pivdenного-bugu-ak-mikolaiv-dva-roki-zive-bez-pitnoi-vodi/>. (дата звернення 07.05.2025)

31. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2021 році. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/2021.pdf>

32. Південноукраїнська АЕС: офіційна інформація. URL: <https://old.energoatom.com.ua/paes.html> (дата звернення: 08.05.2025)

33. Управління екології та природних ресурсів. Миколаївська область, Україна. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1697106633.pdf>

34. Інгульська громада: новини та інформація. URL: <https://ingulska-gromada.gov.ua/news/1684498147/> (дата звернення: 08.05.2025)

35. Огляд ситуації з руйнуванням інфраструктури водопостачання та водовідведення у Миколаївській області. Екодія. URL: <https://epl.org.ua/announces/oglyad-sytuatsiyi-z-rujnuvannyam-infrastruktury-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya-u-mykolayivskij-oblasti/> (дата звернення: 08.05.2025)

36. Стратегія адаптації до зміни клімату для Миколаївської області: аналітична частина. Розділ 2. Проект ЄС EuropeAid.140209.DH.SER.UA. Київ, 2023.

37. Миколаївська область. Вікіпедія. URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D1%97%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C (дата звернення: 09.05.2025)

38. Drinking Trouble: Why tap water in Mykolaiv Region poses a risk. NikVesti. URL: <https://nikvesti.com/en/articles/303043-water-supply-issue-mykolaiv-region> (дата звернення: 09.05.2025)

39. Загальнодержавна цільова соціальна програма “Питна вода Миколаївщини”. URL: <https://www.mk-oblrada.gov.ua/UserFiles/decree/1633434255615c3a8f16115.pdf>

40. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2019 році. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/regonalreport/>

41. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/regonalreport/>

42. Л.Я. Аніщенко, В.О. Полозенцева, Б.С. Сverdlov, М.О. Винокуров. Оцінка впливу регульованого скидання високомінералізованих шахтних вод Кривбасу на господарське використання р. Інгулець <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/2221/1/15.pdf>

43. Крапивка А. Напрямки відновлення інвестиційної привабливості територій туристично-рекреаційної спрямованості. URL: <https://krs.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2750/1/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B0.pdf>

44. ОЦІНКА ТА ДІАГНОЗ СТАНУ БІОЦЕНОЗІВ І БІОРІЗНОМАНІТТЯ ЧОРНОГО МОРЯ В МЕЖАХ ВИКЛЮЧНОЇ МОРСЬКОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ У 2023 РОЦІ. URL: https://sea.gov.ua/img/reports/2023/report2023_theme2.pdf

45. Як підрив Каховської ГЕС забруднив Чорне море. BBC News Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-66041891> (дата звернення 11.05.2025)

46. Тилігул. Лиман, солоніший за Чорне море. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/2313702-tiligul-liman-solonisij-za-corne-more.html> (дата звернення 11.05.2025)

47. Тилігульський лиман. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D0%BB%D1%96%D0%B3%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BD (дата звернення 11.05.2025)

48. Тучковенко Ю. С., Гаркуша О. П., Гриб О. М. та ін. Результати гідрологічного, гідрохімічного, біологічного та медико-гідробіологічного досліджень Куяльницького лиману. Український гідрометеорологічний журнал, 2022, №30. https://www.researchgate.net/publication/367229151_Results_of_the_hydrological_hydrochemical_biological_and_medico-hydrobiological_studies_of_the_Kuialnyk_Estuary/fulltext/63c80afe6fe15d6a572c4162/Results-of-the-hydrological-hydrochemical-biological-and-medico-hydrobiological-studies-of-the-Kuialnyk-Estuary.pdf

49. Березанський лиман. ВУЕ. URL: https://vue.gov.ua/%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BD (дата звернення 12.05.2025)

50. Каракаш Г. В. ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ РИБОГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ

БІОРЕСУРСІВ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ. URL:
http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11031/1/MR_Karakash_2022_VBR.pdf

51. Ковальська О.І. Водна небезпека міста Миколаєва за умов воєнного часу. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.48-63> (дата звернення 12.05.2025)

52. Розумне рішення: командувач ВМС прокоментував затоплення фрегата «Гетьман Сагайдачний». АрміяInform, 11 січня 2024. URL: <https://armyinform.com.ua/2024/01/11/rozumne-rishennya-komanduvach-vms-prokomentuvav-zatoplennya-fregata-getman-sagajdachnyj/> (дата звернення 13.05.2025)

53. Через удар російського БПЛА до Бузького лиману потрапило 1800 тонн олії. URL: https://24tv.ua/agro24/buzkiy-liman-viteklo-ponad-18-tisyachi-tonn-sonyashnikovoyi-oliyi_n2723130. (дата звернення 13.05.2025)

54. Про затвердження обласної Програми "Питна вода Миколаївщини". Миколаївська обласна рада. URL: <https://www.mk-oblrada.gov.ua/UserFiles/decreeProject/16316289806140aeb493fee.pdf> (дата звернення: 14.05.2025)

55. Про управління БУВР Південного Бугу. Офіційний сайт. URL: <https://buvrpb.davr.gov.ua/pro-upravlinnia>. (дата додавання: 14.05.2025)

56. Положення про РОВР у Миколаївській області. URL: https://mk-vodres.davr.gov.ua/sites/default/files/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%A0%20%D1%83%20%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D1%97%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%96_0.pdf

57. Впровадження геоінформаційної системи моніторингу якості води і водокористування у Миколаївській області. URL:

<https://mk-vodres.davr.gov.ua/vprovadzhennya-geoinformatsijnoji-sistemi-monitoringu-yakosti-vod-i-vodokoristuvannya-mikolajivskoj-oblasti>

58. Гідрологічний моніторинг – РОВР у Миколаївській області. URL: <https://mk-vodres.davr.gov.ua/gidro/>. (дата звернення: 16.05.2025)

59. Sentinel-2 – супутникова платформа. Copernicus. URL: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-2> (дата звернення: 16.05.2025)

60. Google Earth. Google LLC. URL: <https://earth.google.com/intl/earth/> (дата звернення: 16.05.2025)

61. Режими роботи водосховищ. URL: https://mk-vodres.davr.gov.ua/sites/default/files/%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B8%D0%BC%D0%B8_%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%85_%28%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B2%29.pdf

62. Екологи назвали причину чому міліє Південний Буг. Олег Івашко. Урядовий кур'єр. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/news/ekologi-nazvali-prichinu-chomu-miliye-pivdennij-bu> / (дата звернення 16.05.2025)

63. Тимченко І.В. Гаврилюк Р.Б. О.В. Томченко. Український географічний журнал 2021. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.04.065>

64. Ташлицьке водосховище – екологічна ситуація. Інститут зоології НАН України. https://www.izan.kiev.ua/tash_d.pdf

65. Олександрівське водосховище уперше використано в якості водного акумулятора. Південноукраїнська міська рада. URL: <https://yu.mk.ua/news/show/13524> (дата звернення 16.05.2025)

66. Зауваження до оцінки впливу на довкілля Ташлицького водосховища. Екодія. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zauvazhennia-tashlyk-ovd-2023-full.pdf>

67. Обміління Південного Бугу – загроза для екології Миколаївського регіону. Nibulon. URL: <https://old-version.nibulon.com/news/novini-kompanii/obmilinnya-pivdenного-bugu-zagroza-dlya-ekologii-mikolaiivskogo-regionu.html> (дата звернення 17.05.2025)
68. Нібулонівський екологічний стандарт: компанія провела зариблення Південного Бугу. URL: <https://old-version.nibulon.com/news/novini-kompanii/nibulonivskii-ekologichnii-standard-v-dii-kompaniya-provela-zariblennya-pivdenного-bugu-9078.html> (дата звернення 17.05.2025)
69. Кузьміна Т.М. АНАЛІЗ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ В МИКОЛАЇВСЬКИЙ ОБЛАСТІ. URL: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/395-399_3.pdf
70. Вознесенськ: як українське місто відбило атаку російської армії. Texty.org.ua. URL: <https://texty.org.ua/articles/106023/vozesensk-yak-ukrayinske-misto-vidbylo-odnu-iz-najbilsh-znachushyh-rosijskyh-atak/> (дата звернення 18.05.2025)
71. Актівський каньйон. TDM.UA. URL: <https://tdm.kr.ua/aktovskyy-kanyon/> (дата звернення 18.05.2025)
72. Таборівське водосховище. Facebook – Вознесенський вісник. URL: <https://www.facebook.com/VozVisnyk/photos/a.1907486146175350/2723548354569121/?type=3> (дата звернення 18.05.2025)
73. Мигійські пороги. Edubox. URL: <https://edubox.com.ua/mygijski-porogy/> (дата звернення 19.05.2025)
74. Солонці потребують уваги. Агрономія сьогодні. AgroBusiness. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/18711-solontsi-potrebuyut-uvagi.html> (дата звернення 19.05.2025)
75. Тилігульський лиман – туристичний огляд. Inside-UA. URL: <https://inside-ua.com/places/tylihulskyi-lyman> (дата звернення 19.05.2025)

76. 7 рожевих озер в Україні. Lviv1256.com. URL:
<https://lviv1256.com/lists/7rozhevyh-ozer-v-ukraini/> (Дата звернення 19.05.2025)